

# Sommario

<b>1.0</b>	<b>Abstract</b> .....	4
<b>2.0</b>	<b>Abstract</b> .....	5
<b>3.0</b>	<b>Introduzione al BIM e all' InfraBIM</b> .....	8
<b>4.0</b>	<b>Stato dell'arte</b> .....	11
<b>5.0</b>	<b>Metodologia</b> .....	13
5.1	Linguaggio univoco.....	16
<b>6.0</b>	<b>Caso studio</b> .....	19
<b>7.0</b>	<b>Ambito Normativo</b> .....	22
7.1	Ambito Normativo italiano.....	22
7.2	Il concetto di CDE o ACDat.....	24
7.4	Codifica del modello .....	25
<b>8.0</b>	<b>La Modellazione InfraBIM 3D</b> .....	28
8.1	Organizzazione Browser di progetto.....	33
8.2	Posizione del progetto.....	33
8.3	Fasi.....	35
<b>9.0</b>	<b>Analisi e Pianificazione edilizia</b> .....	40
9.1	Vantaggi dei modelli 4D.....	44
<b>10.0</b>	<b>Affidabilità dei costi</b> .....	48
10.1	Strumenti di stima .....	49
10.2	Gestione dei dati con Dynamo.....	51
<b>11.0</b>	<b>Ingegneria della sicurezza antincendio</b> .....	64
11.1	Interoperabilità.....	72
11.2	Pathfinder.....	73
11.3	PyroSim.....	78
11.4	L'InfraBIM per la FSE.....	86
<b>12.0</b>	<b>Conclusioni e sviluppi futuri</b> .....	89
<b>13.0</b>	<b>Allegati</b> .....	94
<b>14.0</b>	<b>Bibliografia</b> .....	108
<b>15.0</b>	<b>Sitografia</b> .....	109
<b>16.0</b>	<b>Ringraziamenti</b> .....	110

## Indice delle Figure

Figura 1: BIM – Interoperability .....	8
Figura 2: BIM – Multidisciplinarietà .....	10
Figura 3: BIM – Lo sviluppo .....	11
Figura 4: BIM – Scambio di informazioni .....	13
Figura 5: n dimensioni dell’InfraBIM.....	15
Figura 6: BIM – IFC .....	16
Figura 7: IFD – IFC - IDM .....	17
Figura 8: Contesto caso studio.....	19
Figura 9: Superficie caso studio .....	20
Figura 10: Sezione caso studio .....	20
Figura 11: Esempio iniezioni solide .....	21
Figura 12: Sviluppo della metodologia BIM attraverso UNI 11337 .....	22
Figura 13: Ambiente di condivisione dei dati <sup>12</sup> .....	24
Figura 14: Esempio di codifica.....	25
Figura 15: WIP .....	26
Figura 16: Gestione delle Fasi del Modello Contesto .....	28
Figura 17: Abachi multicategoria per Fasi .....	29
Figura 18: Gestione delle Fasi del Modello Strutturale .....	29
Figura 19: Gestione visibilità grafica.....	30
Figura 20: Gestione filtri.....	30
Figura 21: Modello di coordinamento .....	31
Figura 22: Schema modello di coordinamento.....	31
Figura 23: Modello di coordinamento .....	32
Figura 24: Browser di progetto .....	33
Figura 25: Localizzazione Internet.....	33
Figura 26: Fasi con relativa Descrizione .....	35
Figura 27: Modello di vista .....	36
Figura 28: Browser di progetto .....	36
Figura 29: Opzione di visualizzazione Fase - Filtro.....	37
Figura 30: Impostazioni Navisworks .....	40
Figura 31: Visualizzazione demolizione .....	41
Figura 32: Visualizzazione nuova costruzione .....	42
Figura 33: Visualizzazione nuova costruzione - Architettonico .....	42
Figura 34: Grafico – Affidabilità dei costi [4].....	48
Figura 35: Computo materiali pavimento .....	50
Figura 36: Formula per Totale Costo.....	50
Figura 37: Pacchetti installati .....	51
Figura 38: Versione Dynamo .....	51
Figura 39: Versione Dynamo scaricata .....	52
Figura 40: Algoritmo Dynamo .....	52
Figura 41: Nodo Dynamo .....	53
Figura 42: Nodo Dynamo .....	53
Figura 43: Nodo Dynamo .....	53

Figura 44: Computo materiali pavimento .....	54
Figura 45: Algoritmo Dynamo .....	54
Figura 46: Nodo Dynamo .....	55
Figura 47: Nodo Dynamo .....	55
Figura 48: Nodo Dynamo .....	55
Figura 49: Importazione Costi con Dynamo .....	56
Figura 50: Algoritmo Dynamo .....	58
Figura 51: Nodo Dynamo .....	59
Figura 52: Nodo Dynamo .....	59
Figura 53: Nodo Dynamo .....	59
Figura 54: Simulazione PyroSim .....	65
Figura 55: Vantaggi della FSE .....	65
Figura 56: Determinazione ASET e RSET .....	66
Figura 57: Soglie di accettabilità .....	68
Figura 58: Modelli di zona .....	69
Figura 59: Modelli di campo .....	70
Figura 60: Visualizzazione della comprensione geometrica del software PyroSim .....	70
Figura 61: Esportazione tramite SImLab .....	72
Figura 62: Numero di occupanti nel tempo dell'intera infrastruttura .....	73
Figura 63: Utilizzo della porta selezionata .....	73
Figura 64: Visualizzazione grafica Pathfinder .....	74
Figura 65: Utilizzo della scala selezionata .....	74
Figura 66: Tabella delle velocità degli utenti .....	75
Figura 67: Utilizzo della scala selezionata .....	75
Figura 68: Assistenza da parte dei soccorsi .....	76
Figura 69: t pre – Trasporti .....	76
Figura 70: Densità di occupanti .....	77
Figura 71: Software PyroSim .....	78
Figura 72: Linee di comando PyroSim .....	78
Figura 73: Mesh realizzate su PyroSim .....	80
Figura 74: Edita Mesh .....	80
Figura 75: Edita Reazione .....	81
Figura 76: Curva HRR .....	82
Figura 77: Propagazione Fumi .....	82
Figura 78: Propagazione Temperatura [40°C] .....	83
Figura 79: Grafico Termocoppie .....	83
Figura 80: Grafico Visibilità .....	84
Figura 81: Individuazione "Devices" .....	84
Figura 82: Isocurva [60°C] .....	85
Figura 83: Accoppiamento simulazioni di incendio e di evacuazione .....	85
Figura 84: PyroSim - Isocurve .....	86
Figura 85: Pathfinder - Distribuzione occupanti .....	86
Figura 86: Grafico numero di occupanti per determinato locale .....	87
Figura 87: Grafico Visibilità per determinato locale .....	87
Figura 88: Locali in Revit .....	88
Figura 89: Importazione dei Grafici come parametro .....	88
Figura 90: Portata delle porte selezionate .....	92



## 1.0 Abstract

Partendo da un caso studio reale (Stazione Metropolitana di Sevran Beaudottes), con una già definita WBS (Work Breakdown Structure), vengono elaborati modelli 4D,5D e 6D; il BIM (Building Information Modeling) per le infrastrutture, viene quindi utilizzato per la determinazione dei tempi, dei costi e per analisi basate sulla FSE (Fire Safety Engineering). L'applicazione del BIM per le infrastrutture risulta essere in fase evolutiva, ma, anche in questo campo, ci si è accorti che attraverso una progettazione efficiente e basata sulla collaborazione, il Building Information Modeling (BIM) e l'interoperabilità tra i software garantiscono una serie di vantaggi a chi opera nel settore.

Ogni attività viene supportata e arricchita da software specifici e l'interoperabilità deve essere implementata al fine di ridurre il più possibile la ridondanza dei dati, dovuta alla realizzazione di più modelli per scopi diversi. Si evita così la disincentivazione delle analisi e l'aumento incontrollato di errori e incoerenze, questo lavoro di Tesi ricerca una maggiore automazione della prassi progettuale. L'interoperabilità tra i software richiede un formato aperto<sup>1</sup> per i dati delle strutture ed una interfaccia di dati per ogni applicazione, nel momento in cui l'utente uscirà dalla specifica piattaforma software la struttura di dati standardizzati gli dovrà consentire "l'information exchange" ovvero lo scambio di informazioni.

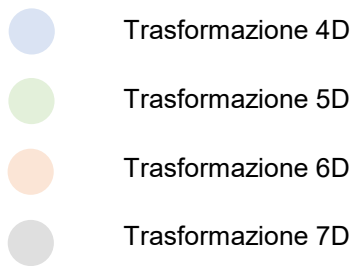
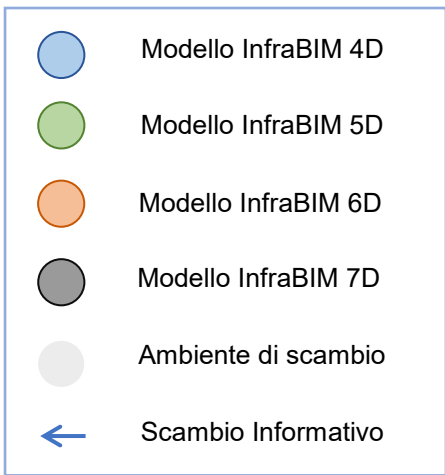
---

<sup>1</sup> Formato aperto: Formato di file basato su specifiche sintassi di dominio pubblico il cui utilizzo è aperto a tutti gli operatori senza specifiche condizioni d'uso.

NOTA – Alcuni esempi di formati aperti di particolare interesse per il campo di applicazione della presente parte della Tesi sono: .IFC, fbx (Filmbox), .nwc, ecc.

## 2.0 Abstract

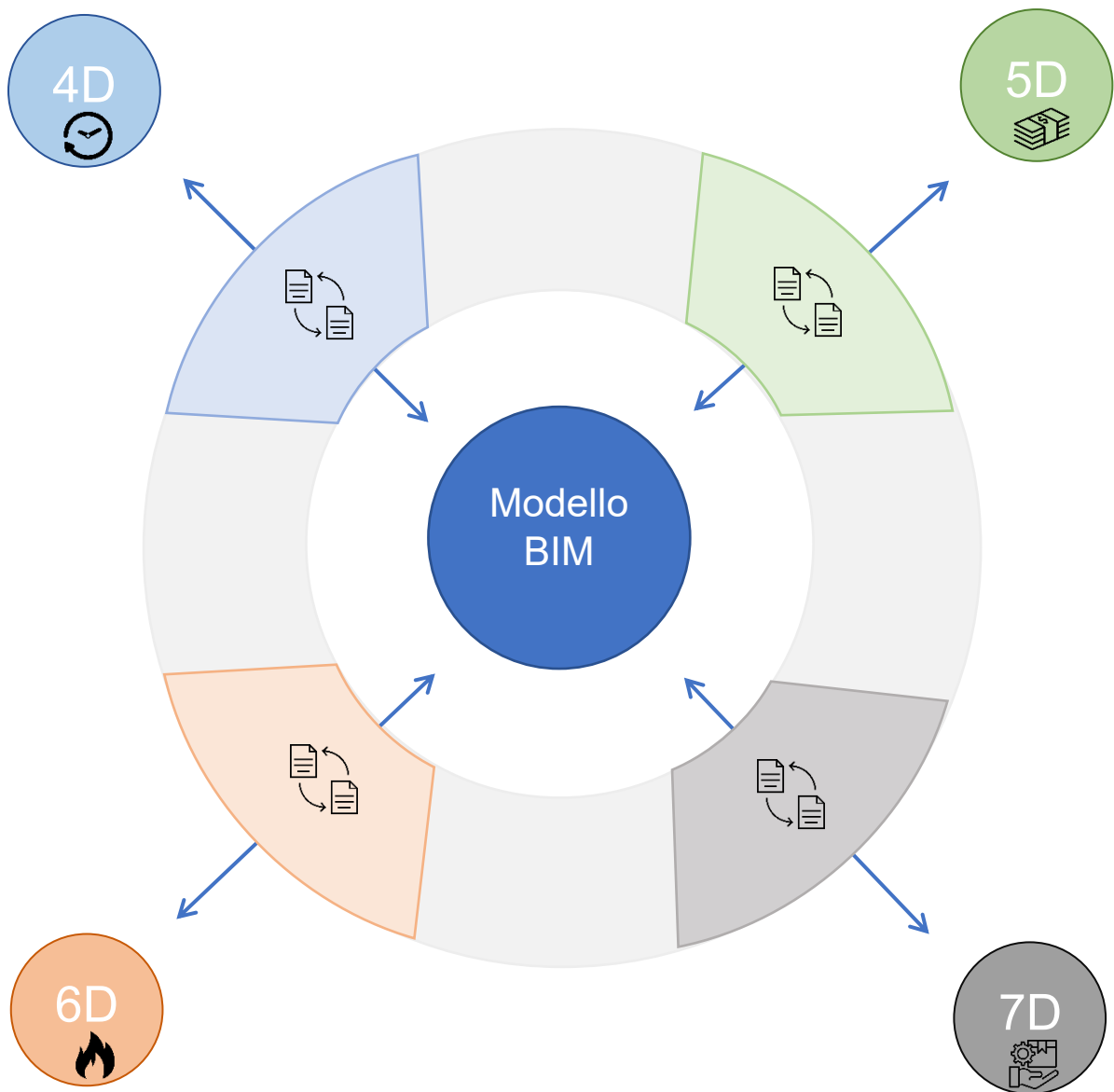
Starting from a real case study (Sevran Beaudottes Metro Station), with an already defined WBS (Work Breakdown Structure), 4D,5D and 6D models are elaborated, the BIM (Building Information Modeling) for the infrastructures, is then applied to define times, costs and analysis based on the FSE (Fire Safety Engineering). Although the application of BIM methodology to infrastructures is still under development, it has been realized that through an efficient and collaboration-based design, the Building Information Modeling and the interoperability between the software guarantee a series of advantages for those working in the sector. Each activity is supported and enriched by specific software and interoperability must avoid data redundancy and inconsistency. By avoiding the disincentive analysis and the uncontrolled increase in errors and inconsistencies, this Thesis work seeks greater automation of design practice. Interoperability between the software requires an open model for the data of the structures and a data interface for each application, when the user needs to extract data from specific software platforms to enable the information exchange environment the standardized data structure will allow him/her the information exchange.



 NAVISWORKS

 DYNAMO

 PATHFINDER  PYROSIM







### 3.0 Introduzione al BIM e all' InfraBIM

In questo capitolo si definisce un nuovo approccio alla progettazione, alla realizzazione, al Facility Management e ad un nuovo metodo di passaggio dei dati e delle informazioni mediante l'interoperabilità tra i software chiamato Building Information Modelling (BIM). L'obiettivo che si cerca di raggiungere da diversi anni è la digitalizzazione del mondo delle costruzioni attraverso il BIM, una delle metodologie di management, che sta suscitando forte dibattito nell'ambito delle costruzioni. Il BIM, consente di costruire digitalmente accurati modelli virtuali di una struttura o infrastruttura a supporto di tutte le fasi del processo edilizio permettendo un'analisi e un controllo più efficienti rispetto ai processi tradizionali; proprio per questo motivo, non può essere considerata esclusivamente come un passaggio dalla progettazione bidimensionale ad una modellazione tridimensionale.

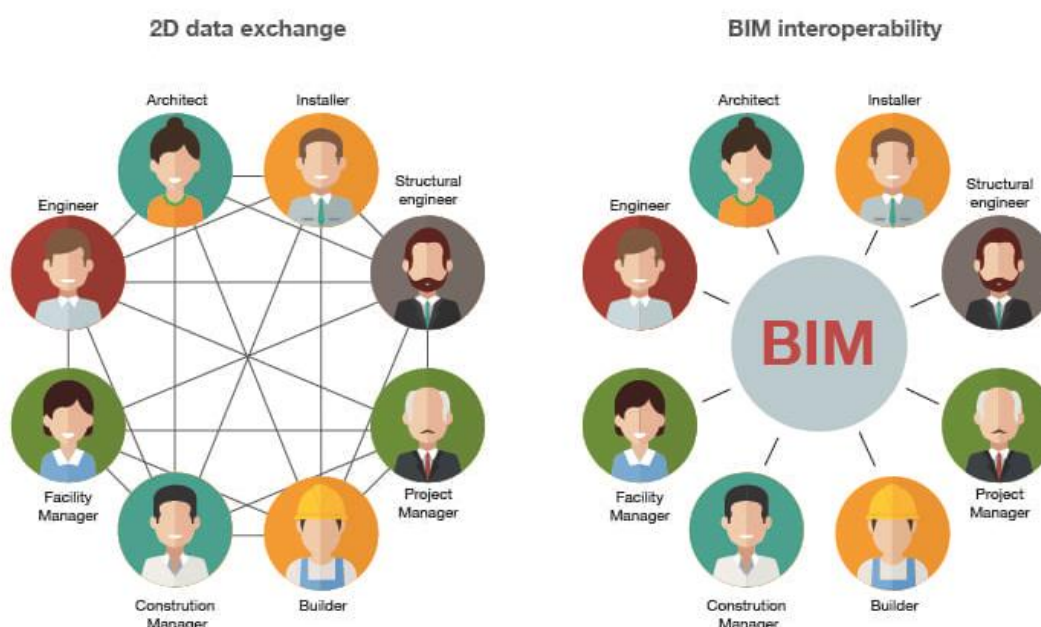


Figura 1: BIM – Interoperability <sup>2</sup>

Una volta definitivi, questi modelli contengono in modo preciso la geometria e i dati necessari alle fasi di progettazione, infatti, il BIM può essere anche espresso mediante una formula esplicita che definisce il Building Information Modeling come somma del Building Information Model e dell'interoperabilità. L'acronimo BIM è utilizzato per definire una attività piuttosto che un semplice oggetto.

La modellazione BIM, sviluppata durante la fase di progettazione e poi implementata durante la fase di realizzazione, mette a disposizione tutte le informazioni necessarie per gestire il ciclo di vita di una qualsiasi struttura [4]. Oltre ad essere di fondamentale importanza per le operazioni future di gestione e manutenzione, modifica le procedure relazionali tra i soggetti coinvolti nel processo edilizio e trasforma quelli che sono gli attuali schemi conflittuali in modelli puramente collaborativi.

<sup>2</sup> Fonte: <http://biblus.accasoftware.com/en/ifc-whats-it-for-whats-its-connection-with-bim/>

L'utilizzo opportuno del BIM semplifica l'intero iter di realizzazione di un'opera, favorendone l'integrazione e consentendo una migliore qualità del costruito andando a ridurre sia i costi sia i tempi di realizzazione progettuale che saranno ampiamente descritti nei seguenti capitoli. Si parla invece di InfraBIM, se l'utilizzo della metodologia è orientato verso il mondo delle infrastrutture, e quindi:

- Infrastrutture a rete (di trasporto o di impianti tecnologici);
- Infrastrutture puntuali (di tipo sociale).

L'applicazione del BIM per le infrastrutture risulta essere in fase evolutiva, ma, anche in questo mondo, ci si è accorti che attraverso una progettazione efficiente e basata sulla collaborazione, il Building Information Modeling (BIM) e l'interoperabilità tra i software garantiscono una serie di vantaggi a chi opera nei mercati dell'architettura, dell'ingegneria e del mondo delle costruzioni nelle infrastrutture. Il prossimo futuro del BIM consisterà nel ricercare una perfetta condivisione digitale dei dati, in cui ogni professionista nell'ambito della propria competenza sarà in grado di raccogliere informazioni e sfruttarle per il proprio campo specifico, tutto ciò richiedendo ovviamente competenze consolidate.

Grazie al BIM e all'infraBIM sarà infatti possibile condurre l'industria delle costruzioni nella direzione di un processo basato sul modello digitale parametrico, cercando di allontanarla gradualmente da un processo o iter che è sempre stato tipicamente basato sul disegno bidimensionale e cartaceo [1]. Come attività, il BIM è definito da un raggruppamento degli svariati processi applicati per la realizzazione e la comunicazione di informazioni tra soggetti a livelli differenti, utilizzando modelli realizzati da ciascuno dei partecipanti al processo edilizio, con tempistiche differenti ed anche per scopi non uguali tra loro, per garantire qualità ed efficienza attraverso l'intero ciclo di vita della struttura.

Quello che abbiamo già definito precedentemente come building information model è, invece, una rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali dell'oggetto di studio. Questa rappresentazione contiene oggetti digitali che corrispondono alle componenti del mondo reale come diaframmi, pali e aperture con associate proprietà, informazioni utili per una visione completa del modello.

Si deve sottolineare che questa metodologia cambia la comunicazione dei dati: con i software bidimensionali due linee parallele e un retino al loro interno avevano un significato ben preciso esclusivamente se una persona era a conoscenza delle regole UNI e delle convenzioni del disegno tecnico; invece, attraverso il BIM un muro è rappresentato non solo graficamente con le caratteristiche dimensionali di un muro reale, ma ad esso sono associate proprietà fisiche e termiche che corrispondono a quelle reali. Attraverso gli strumenti di modellazione utilizzati nella metodologia BIM si deve avere una competenza solida sulle tecniche e modalità di esecuzione di un'opera. La visualizzazione è più immediata grazie all'aggiornamento del database che si riflette nelle viste, che ci danno la possibilità di presentare il progetto anche a chi è del settore. Questa "lettura semplificata" viene riflessa anche nel mondo della progettazione antincendio. Le tavole grafiche necessarie per l'approvazione degli enti non seguono regole UNI e sono a discrezione del progettista le varie rappresentazioni grafiche dei limiti da mantenere nell'approccio prescrittivo.

L'utilizzo del BIM faciliterebbe sia il progettista, nell'inserimento del valore che indica il raggiungimento della prescrizione attraverso un'informazione, sia l'ente di controllo nel "code checking".

Tutto ciò non significa che la metodologia descritta fino ad ora non debba avere regole e soprattutto standardizzazioni. Infatti, l'industria delle costruzioni deve ricercare accordi sulle definizioni e sulle regole riguardanti il processo e l'ambiente di condivisione per la realizzazione di un qualsiasi

progetto.

Dal lavoro attraverso la metodologia BIM tutte le informazioni relative ad una struttura o infrastruttura sono digitalmente memorizzabili e facilmente accessibili a tutti gli attori fondamentali del processo edilizio, in modo da supportare le loro specifiche attività professionali. Dicendo questo si vuole ulteriormente sottolineare il fatto che il BIM non rappresenta solo un'evoluzione dal bidimensionale al modello tridimensionale, ma una estesa metodologia per migliorare, ottimizzare il processo e rendere più efficiente quella che è la collaborazione del gruppo di lavoro. In questi processi dev'essere sicuramente ben chiaro il "ciclo di vita" del lavoro realizzato. Questo significa che durante la progettazione i professionisti devono essere consci del fatto che il proprio lavoro verrà utilizzato da altri soggetti.



Figura 2: BIM – Multidisciplinarietà <sup>3</sup>

Il building information model viene sfruttato a volte per un'unica e singola disciplina e contiene al suo interno tutte le informazioni base, mentre altre volte può coinvolgere più discipline ed essere caratterizzato da un buon numero di dati e quindi di informazioni. Nel secondo modello citato, ci si avvicina all'idea di un edificio virtuale in cui la totalità dei problemi possono essere individuati e risolti in modo digitale prima che l'edificio venga fisicamente realizzato in cantiere. Possiamo quindi ribadire al termine di questo capitolo di introduzione che gli strumenti utilizzati in una metodologia BIM sono molto complessi ed hanno molte più potenzialità degli strumenti Computer Aided Design (ovvero CAD). Indubbiamente, la possibilità di estrarre informazioni relative alla geometria e alla proprietà dal modello di una struttura avrà un grande impatto su tutti gli aspetti del mondo delle strutture e delle infrastrutture.

---

<sup>3</sup> Fonte: <https://password.devolutions.net/home/features>

## 4.0 Stato dell'arte

Il Computer Aided Design (CAD) ha semplicemente riportato nel mondo digitale le rappresentazioni e i disegni tecnici realizzati su carta. La metodologia BIM invece trasporta nel digitale tutte le informazioni che rendono chiara la struttura, cambiando drasticamente il modo con cui il progetto viene pensato e realizzato [1]. Il passaggio dai disegni ai building information models come strumento richiede ovviamente una serie di considerazioni che riguardano il nuovo ambiente digitale (trattandosi appunto della digitalizzazione del mondo delle costruzioni). Nel CAD per differenziare le varie discipline apportate dai professionisti di differenti ambiti professionali veniva utilizzato il concetto di "organizzazione su strati" (layer). Nello stesso modo, il CAD 3D inizialmente si focalizzò sulla realizzazione di elementi geometrici che avevano come scopo univoco quello del Rendering e a cui mancava quindi ogni tipo di informazione associata al modello tridimensionale. Più recentemente, i sistemi CAD Object-Oriented (OOCAD) hanno sostituito i 2D con elementi 3D che possono essere visualizzati in viste multiple ed a cui si possono attribuire dei dati. L'introduzione di una geometria parametrica, con regole relative al dimensionamento, aggiunge intelligenza agli elementi del modello, consentendo rappresentazioni di notevole complessità. Pensando ad un esempio pratico, come quello dei muri, questi possono essere a piacimento allungati e uniti, possono essere caratterizzati da una certa altezza ed uno specifico tipo di stratigrafia, e ad essi, infine, si possono associare delle proprietà specifiche. Analogamente, porte e finestre sono caratterizzate da oggetti capaci di contenere le relazioni con il muro in cui sono posizionate.

Un altro elemento fondamentale è rappresentato dagli spazi, che possono essere individuati e identificati con il numero o il nome del locale, e caratterizzati dalla superficie, dal volume o dalla destinazione d'uso; inoltre, vi è la possibilità di assegnare ad uno spazio uno o più parametri, ad esempio per calcolare l'area totale del pavimento o per definire il tempo di esodo di tale stanza. Il BIM è l'ultima generazione dei sistemi OOCAD. In esso una serie di oggetti edilizi sono riportati in un unico database del progetto. Un building information model fornisce dunque un'unica, logica, sorgente per tutte le informazioni associate alla struttura o all'infrastruttura [1].

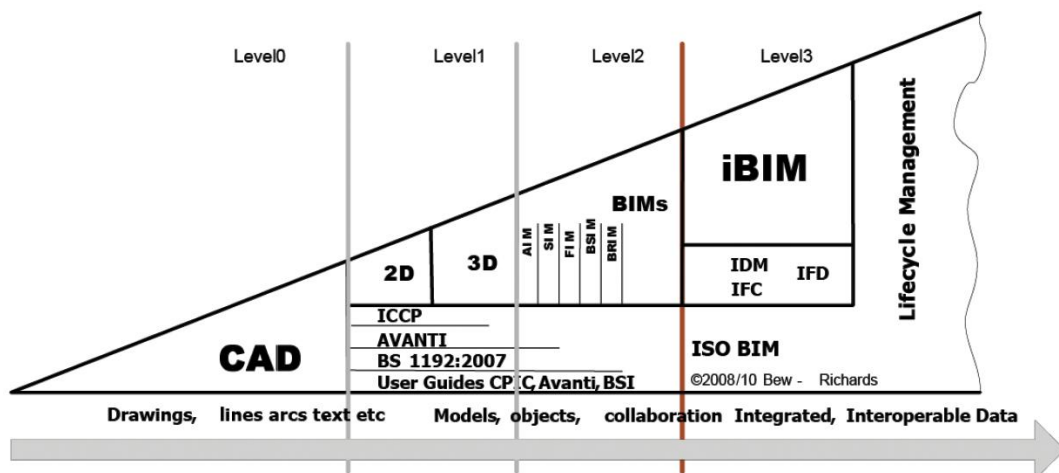


Figura 3: BIM – Lo sviluppo <sup>4</sup>

<sup>4</sup> Fonte: <https://www.datscadservices.com/services/bim-services/bim-overview/>

Il BIM è una metodologia basata fondamentalmente su un modello virtuale della struttura, mentre il building information model contiene tutte le informazioni che la caratterizzano. In aggiunta ai contenuti dei modelli CAD 3D object-oriented, questo modello include informazioni come le caratteristiche degli elementi della struttura, i costi dei materiali ed informazioni relative all'antincendio.

In altre parole, il BIM consente ai progettisti di integrare tutte le informazioni di un progetto all'interno di un unico database digitale, in modo tale che ci sia un unico punto di riferimento per gli enti di controllo.

Il database è di fondamentale importanza ed è una descrizione completa dell'infrastruttura oggetto di studio e del luogo in cui essa è inserita e contiene tutti gli oggetti descritti in un ben definito 3D geometrico.

Possiamo quindi dire che la tecnologia per la modellazione digitale ha una grandissima influenza sulla pratica professionale nel mondo delle costruzioni. I building information models possono produrre le tavole tradizionali a cui i progettisti sono abituati, ma sono anche in grado di produrre delle informazioni aggiuntive per le n dimensioni del BIM, da utilizzare per altri scopi in processi automatizzati.

Lo scopo principale del BIM è quello della raccolta gerarchica dei dati, questi si rendono disponibili ad altri professionisti in seguito e, diventa di fondamentale importanza sapere chi ha inserito i dati e in quale sequenza (ora e data) in modo tale che i professionisti utenti dell'informazione in un secondo momento siano certi della sua autenticità. Affinché il modello BIM possa essere implementato con successo, è fondamentale che i membri del team abbiano chiaro l'utilizzo che se ne farà in futuro dell'informazione. Per esempio, quando il professionista tecnico aggiunge un muro ad un modello, quel muro può contenere molte informazioni, come materiali, i costi, le proprietà strutturali e termiche; deve essere noto se e come queste informazioni vengono usate nel prossimo futuro. Infatti, l'interoperabilità, e quindi la necessità di spostare queste informazioni, influenza sicuramente il metodo usato per lo sviluppo del modello. Il team di progetto per far questo deve innanzitutto considerare tutte le fasi successive del progetto per comprendere quali sono le informazioni preziose da utilizzare in ogni fase. Un building information model come abbiamo già definito precedentemente ha il vantaggio di contenere le informazioni in un unico luogo, questo è sicuramente uno dei punti di forza del BIM. Ma, questa metodologia non ha esclusivamente vantaggi, infatti il consentire l'aggregazione di dati a più utenti può portare a rischi significativi per il progetto. La gestione dell'aggregazione dei dati richiede quindi uno studio ed una pianificazione iniziale; questo controllo garantisce che la qualità dell'informazione sia protetta dalla creazione attraverso condivisione ed utilizzo, in modo che solo le persone opportunamente autorizzate e abilitate possano accedere. Chiaramente, occorre garantire che le specifiche dell'informazione e della sua organizzazione gerarchica siano ben definite e condivise prima che i building information models siano realizzati. Infine, il pensiero di ampliare questo concetto anche all'ambiente globale, in cui i sistemi devono essere interoperabili in diverse lingue, consentirà di sostenere la collaborazione internazionale. Il BIM, come tante altre nuove tecnologie, può aggiungere un grado di rischio se implementato da gruppi di progettazione con poca esperienza, oppure se le persone non sono al corrente delle strategie e dei processi degli altri membri del team, ma, "il BIM deve comunque essere considerato una transizione epocale nella pratica progettuale con grandi opportunità per gli architetti e gli ingegneri".

## 5.0 Metodologia

Poiché il mondo delle costruzioni è caratterizzato da attività collaborative e non esiste un unico software in grado di gestire tutte le lavorazioni e le analisi associate ad esse, sono necessari strumenti che consentano lo scambio di dati tra professionista e professionista e tra applicazione ed applicazione.

Per supportare i vari ambiti durante le fasi di progettazione e costruzione sono disponibili molti software.

Bisogna quindi definire l'interoperabilità ovvero la capacità di scambiare informazioni tra sistemi, consentendo di orientare nella medesima direzione i flussi di lavoro e, facilitarne l'automazione. Come si è descritto nel primo capitolo, è questo che permette al Building Information Modeling - BIM di venir impiegato come metodologia e non solo come building information model semplificato per l'utilizzo durante la fase di progettazione.

L'interoperabilità dipendeva dai formati di base dei file di scambio limitatamente alla geometria, come i DXF (Drawing Exchange Format) e IGES (Initial Graphic Exchange Specification). I collegamenti diretti basati sull'Application Programming Interface (API) sono il metodo più vecchio e tuttora più importante per garantire l'interoperabilità. Lo scambio automatizzato dei modelli e di altri dati tra diverse piattaforme software è uno dei principali cambiamenti che è necessario chiedere all'industria delle costruzioni per una completa collaborazione tra i diversi attori che partecipano al processo edilizio.

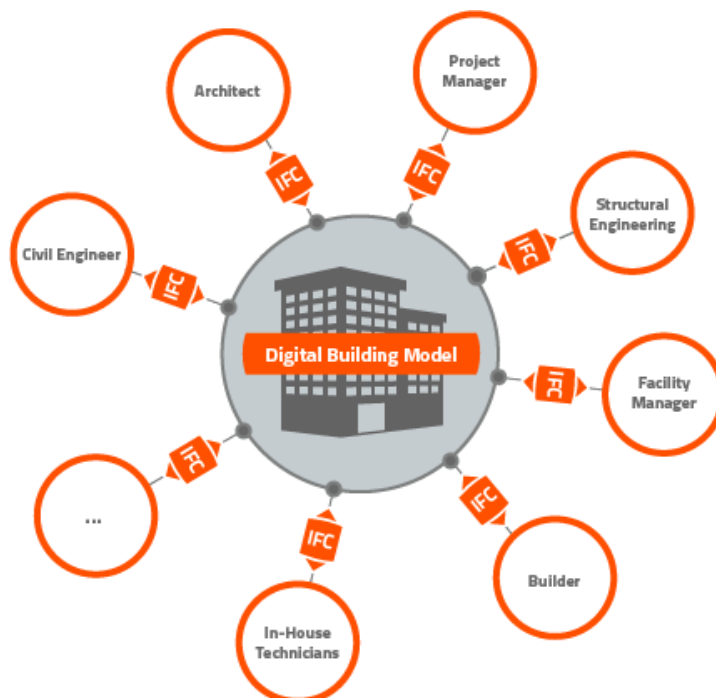


Figura 4: BIM – Scambio di informazioni <sup>5</sup>

Per definire in modo chiaro e unico gli scambi di informazioni, è di fondamentale importanza definire degli standard tecnici, poiché gli utenti che trasferiscono le informazioni lo fanno utilizzando diversi

<sup>5</sup> Fonte: <https://www.cadenas.de/news/en/reader/items/cadenas-supports-ifc-exchange-format-for-bim>

software.

La progettazione e la costruzione di una struttura sono attività di elevata complessità. Sempre più spesso tutte le attività (progettuale-architettonica, strutturale, impiantistica) vengono supportate e arricchite da software informatici specifici. Oltre alla possibilità di supportare la geometria e le stratigrafie dei materiali, vi è ovviamente la disponibilità di tali programmi a realizzare delle analisi strutturali, energetiche o fluidodinamiche come nel caso specifico. L'interoperabilità è la capacità di contribuire congiuntamente al lavoro manuale. Tale caratteristica riduce al minimo quella che è la necessità di reinserire i dati già generati in altri software. Se i dati progettuali vengono copiati manualmente, l'iterazione, necessaria per trovare le soluzioni migliori a problemi complessi, come la progettazione strutturale e antincendio, viene disincentivata. Inoltre vengono generati errori, poiché la copia manuale comporta inevitabilmente incoerenza, e viene limitata in modo significativo l'automazione del processo edilizio all'interno del mondo delle costruzioni. L'interoperabilità, quindi, apre la strada all'automazione e tra i software richiede l'accettazione di un modello aperto per i dati delle strutture e di una interfaccia di dati per ogni applicazione. Disponendo di un Building Information Model realizzato per fasi, è possibile associare al cronoprogramma in maniera automatica il modello 4D ovvero relativo alla programmazione temporale.

La successiva implementazione è rappresentata dalla possibilità di realizzazione un modello 5D mediante il quale risulta possibile la definizione del computo metrico estimativo dell'opera, in modo dettagliato.

Ed infine è possibile proseguire con lo sviluppo di un modello 6D: dimensione legata alla sostenibilità che consente di eseguire l'analisi dell'opera, fornendo gli strumenti per una valutazione accurata e completa del comportamento della struttura. L'ultima dimensione ottenibile è rappresentata dalla dimensione 7D<sup>6</sup> che riguarda l'implementazione del modello per il Facility Management [5].

---

<sup>2</sup> 3D – terza dimensione: “Virtualizzazione grafica dell'opera o dei suoi elementi in funzione dello spazio (geometrie tridimensionali)”.

4D – quarta dimensione: “Virtualizzazione dell'opera o dei suoi elementi in funzione del tempo, oltre che dello spazio”.

5D – quinta dimensione: “Virtualizzazione dell'opera o dei suoi elementi in funzione della moneta, oltre che dello spazio”.

6D – sesta dimensione: “Virtualizzazione dell'opera o dei suoi elementi in funzione della sostenibilità (economica, ambientale, energetica, ecc) dell'intervento, oltre che dello spazio, del tempo e dei costi di produzione”.

7D – settima dimensione: “Virtualizzazione dell'opera o dei suoi elementi in funzione del Facility Management” [5].

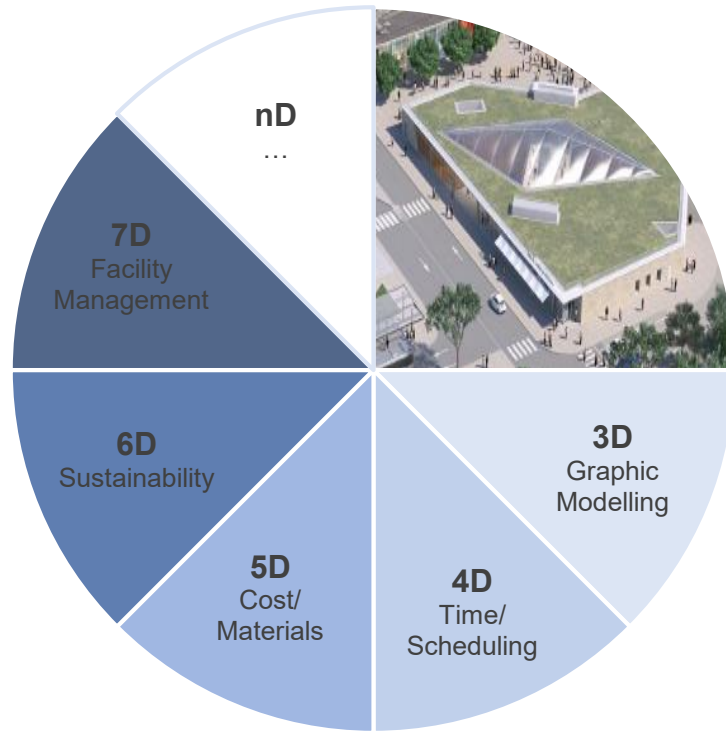


Figura 5: n dimensioni dell'InfraBIM



## 5.1 Linguaggio univoco

Come descritto nel capitolo precedente, l'ambito delle costruzioni e dell'ingegneria è caratterizzata dal coinvolgimento di differenti figure professionali per l'organizzazione di ogni progetto relativo a qualsiasi disciplina. Per lavorare in modo efficiente è necessario che tutti i partecipanti professionisti coinvolti in tale organizzazione conoscano i contenuti, come gestire dove inserire e come comunicare l'informazione da essi generata attraverso il proprio lavoro [2]. Di fondamentale importanza è quindi come si comunica quando si utilizzano strumenti digitali, poiché hanno un livello di tolleranza molto basso nell'interpretazione dei dati; ad esempio se nell'abaco si intendono numerare una serie di "porte", se la ricerca corrisponde al nome "aperture" l'output sarà nullo perché il nome ID non sarà quello condiviso e standardizzato dagli utenti del progetto. Perciò un corretto flusso di dati è possibile solo se tutte le parti vanno ad integrare il modello attraverso le informazioni utilizzando stesso linguaggio, un protocollo condiviso prima della fase progettuale.

Proprio per questa motivazione, vi è uno sforzo per la realizzazione di reali soluzioni BIM che consentano di scambiare dati a livello internazionale per tutta l'industria delle costruzioni. Fortunatamente, molto di questo lavoro è già stato pianificato dall'International Alliance Interoperability (IAI), rinominato successivamente come buildingSMART [1].



Figura 6: BIM – IFC <sup>7</sup>

La tecnologia utilizzata dal buildingSMART è basata essenzialmente sulle tre componenti brevemente descritte di seguito.

### 1. Il Data Model [1]

La missione del buildingSMART è quella della pubblicazione e della promozione di norme per le Industry Foundation Classes (IFCs) come base per la condivisione globale delle informazioni di progetto dell'AEC/FM attraverso il ciclo di vita di una struttura in relazione a tutte le discipline e a tutte le applicazioni tecniche che lo riguardano. IFC<sup>8</sup> è stato progettato come un *framework model* estensibile. Ovvero, è stato sviluppato per fornire definizioni ampie e generali di oggetti e dati, che potevano essere definiti modelli più dettagliati e compiti specifici a supporto di particolari scambi. A questo proposito l'IFC è stato progettato per elaborare tutte le informazioni dell'edificio, attraverso l'intero suo ciclo di vita, dalla fattibilità

<sup>7</sup> Fonte: <https://www.autodesk.com/solutions/bim/hub/bim-interoperability>

<sup>8</sup> IFC: Per analogia l'IFC può essere considerato come una libreria che descrive gli oggetti e definisce come devono essere archiviati, questo *product data model* non perde nessun tipo di informazione ma bisogna valutare se il dato è adeguato per essere contenuto all'interno di essa.

e pianificazione, alla progettazione (compresa l'analisi e la simulazione), alla costruzione, all'occupazione e al suo successivo uso. Le IFC sono composte da una libreria di oggetti<sup>9</sup> e di definizioni delle proprietà che possono essere utilizzate per rappresentare il progetto di una struttura e supportare l'uso delle informazioni costruttive. Il modello di dati IFC in futuro avrà di sicuro un forte e crescente impatto sulla pratica dell'edilizia e degli appalti. Questo impatto contemporaneamente andrà ad influire sugli utenti e sugli sviluppatori di strumenti BIM.

## 2. Il Data Dictionary [1]

L'International Framework for Dictionaries (IFD) Library è una libreria di riferimento che consente una migliore interoperabilità nell'industria delle costruzioni e fornisce un metodo per collegare le esistenti banche dati di informazioni di strutture ad un Building Information Model.

L'IFD è quindi uno standard per librerie di termini e i concetti essenziali della IFD Library derivano da standard aperti che sono stati sviluppati dalla ISO. Mentre lo standard IFC descrive gli oggetti, il loro collegamento, il metodo di scambio e di archiviazione dati, lo standard IFD descrive in modo univoco che cosa tali oggetti sono e quali parti, proprietà, unità e valori essi possono avere. In sostanza, l'IFD fornisce il dizionario, le definizioni dei concetti affinché il flusso di comunicazione avvenga senza alcuna difficoltà a livello internazionale.

## 3. L'Information Delivery Manual [1]

Il buildingSMART usa uno standard dei processi definito come l'Information Delivery Manual IDM ovvero "manuale per lo scambio di informazioni", indica quando alcune tipologie di informazione sono richieste durante un progetto. Esso fornisce specifiche molto in dettaglio dei dati e delle informazioni che un utente è obbligato a fornire in una definita fase progettuale e raggruppa insieme i dati necessari per attività collegate: ad esempio i costi unitari, il volume dei materiali e la pianificazione del lavoro sono intrinsecamente collegati. Quest'ultimo standard è utile all'ottimizzazione della qualità della comunicazione tra i differenti soggetti del processo edilizio.

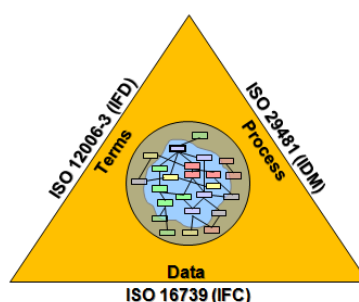


Figura 7: IFD – IFC - IDM<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Libreria di oggetti: Ambiente digitale per la raccolta organizzata e la condivisione di oggetti per modelli grafici.

<sup>10</sup> Fonte: <http://www.buildingsmart-tech.org/>

Per un'utilizzazione completa della metodologia BIM e per conoscerne a pieno i benefici è quindi necessario migliorare notevolmente la qualità delle comunicazioni, perché questo accada, deve esistere una comprensione comune dei processi e delle informazioni richieste per la loro esecuzione.

## 6.0 Caso studio

Per una comprensione globale dell'impostazione progettuale che verrà descritta in seguito e dell'organizzazione del lavoro attraverso un ambiente condiviso, viene riportata in questo capitolo una breve descrizione del caso studio analizzato: Stazione Metropolitana di Sevrans – Beaudottes sita in Parigi. Dalla zona di intervento è di fondamentale importanza notare la vicinanza del caso studio rispetto al “Canal de l'Ourcq”, questo comporterà delle scelte progettuali, dal punto di vista strettamente geotecnico, riportate in seguito. Partendo dal contesto si comprende anche che quest'opera puntuale è relativa ad un ampio progetto pubblico che mira ad ampliare la rete dei trasporti francese raffigurato nell'immagine qui sotto riportata:

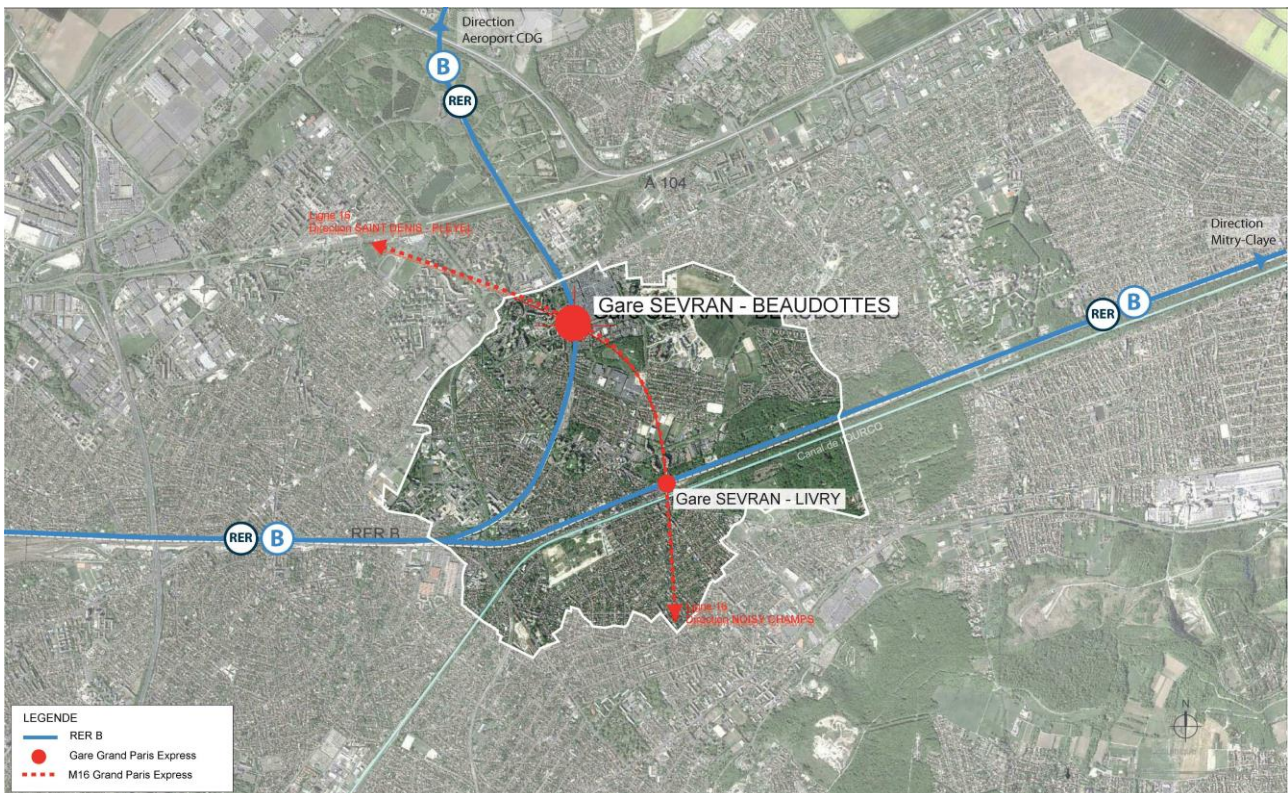


Figura 8: Contesto caso studio

Si riporta quindi più nel dettaglio (in Figura 9) la sagoma sia relativa allo scavo caratterizzata da un dislivello massimo rispetto il piano di campagna di 35,00 metri e ad una dimensione in pianta definita da una forma ellissoidica visibile nell'immagine e identificata con una linea tratteggiata rossa di lati massimi pari a 68,00 m e 39,00 m. Rappresentata invece con una linea continua di colore blu si può individuare la dimensione dell'intervento fuori terra, caratterizzato da una forma geometrica più squadrata e di dimensioni inferiori. La presente stazione viene collegata ad una infrastruttura già esistente ma di piccola entità individuabile ad est rispetto il nuovo intervento. Si nota infine come lo scavo invada la diramazione stradale e renda quindi necessario anche uno studio relativo alla modifica della viabilità per il tempo stabilito.



Figura 9: Superficie caso studio

Il livello progettuale relativo alla documentazione fornita per la redazione di questa Tesi è paragonabile ad uno Studio di Fattibilità (o Progetto di fattibilità tecnica ed economica). Sono quindi state fornite piante, prospetti, sezioni e file descrittivi delle fasi per una adeguata modellazione e analisi in riferimento al livello progettuale.

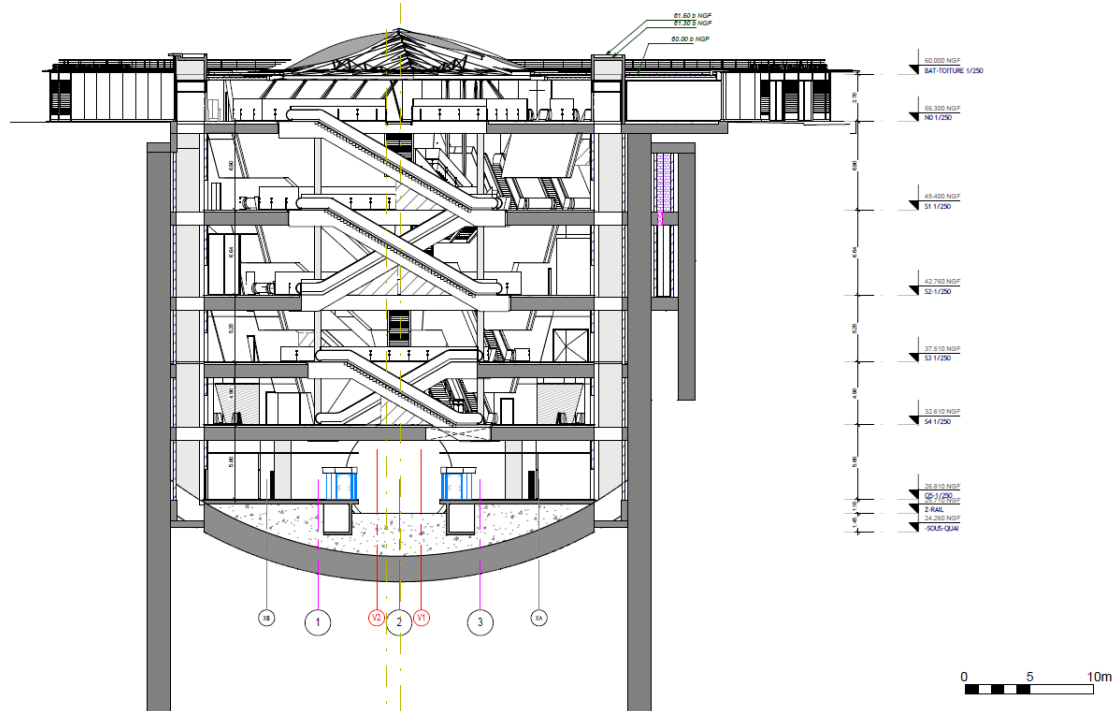


Figura 10: Sezione caso studio

Si riporta una sezione trasversale per mostrare in primo luogo come la stazione sia sviluppata su cinque piani interrati ed uno fuori terra; in secondo luogo come la progettazione strutturale sia stata altamente influenzata dal contesto e quindi dalle forti spinte idrauliche presenti nel terreno. Per contrastare queste spinte si noti come le prime fasi di realizzazione dell'opera siano caratterizzate da numerose iniezioni solide per attribuire maggiori proprietà meccaniche al terreno che ne caratterizzano la sua consolidazione.

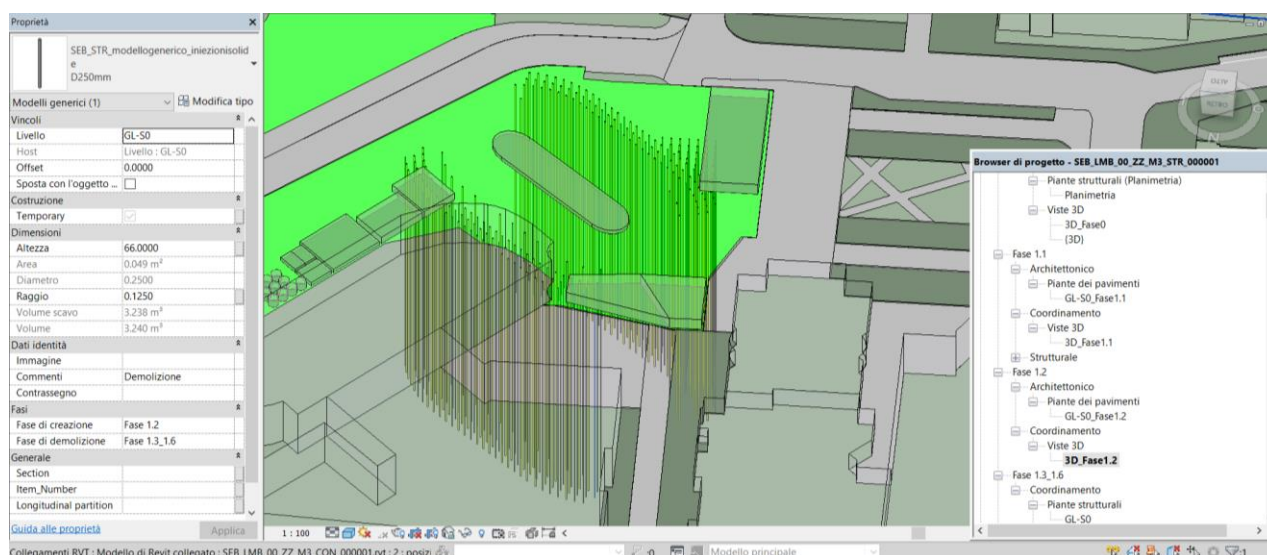


Figura 11: Esempio iniezioni solide

Come è possibile notare nell'immagine precedente, attraverso una WBS (Work Breakdown Structure)<sup>11</sup> già definita si è quindi proceduto alla realizzazione del modello tridimensionale per fasi seguendo i passaggi relativi alla scomposizione del lavoro forniti.

<sup>11</sup> Work Breakdown Structure: Struttura di scomposizione del lavoro

## 7.0 Ambito Normativo

### 7.1 Ambito Normativo italiano

Da un punto di vista normativo l'UNI sta procedendo alla pubblicazione della norma UNI 11337 "Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni", che sostituirà la precedente norma del 2009 "Criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse".

Il processo digitalizzato delle costruzioni tende a una produzione di informazione che siano facilmente reperibili ed utilizzabili da qualunque soggetto che ne abbia necessità, limitando gli errori nella lettura attraverso:

- "Leggibilità, univocità, trasmissibilità e reperibilità dei dati";
- "Trasparenza, efficienza ed efficacia delle informazioni"<sup>12</sup>.

Al fine di promuovere quello che è il processo di digitalizzazione del settore delle costruzioni. Le parti della norma sono le seguenti:

- **Parte 1:** "Modelli, elaborati ed oggetti informativi per prodotti e processi".
- **Parte 2:** "Criteri di denominazione e classificazione di modelli, prodotti e processi".
- **Parte 3:** "Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione" ("schede informative digitali per prodotti e processi").
- **Parte 4:** "Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati ed oggetti".
- **Parte 5:** "Flussi informativi nei processi digitalizzati".
- **Parte 6:** "Esemplificazione di capitolato informativo".
- **Parte 7:** "Requisiti di conoscenza, abilità e competenza per figure coinvolte nella gestione digitale dei processi informativi".



Figura 12: Sviluppo della metodologia BIM attraverso UNI 11337 <sup>13</sup>

<sup>12</sup> Fonte: UNI11337:2017

<sup>13</sup> Fonte: <http://www.shelidon.it/?p=5797>

“La notevole attività normativa che si sta svolgendo in questi anni sulla metodologia BIM in Italia, è dovuta al fatto che dal prossimo anno (1° Gennaio 2019), partirà il processo di digitalizzazione degli appalti pubblici per le opere di importo pari o superiore a 100 milioni di euro, e successivamente per importi minori: dal 2020 per i lavori oltre i 50 milioni, dal 2021 per i lavori oltre i 15 milioni, dal 2022 per le opere oltre soglia comunitaria, fissata a 5,2 milioni, dal 2023 per le opere oltre 1 milione, dal 2025 per tutte le nuove opere”<sup>14</sup>.

La digitalizzazione degli appalti pubblici porta ad una volontà anche da parte del settore privato a lavorare con team che sfruttano questa metodologia. I paesi in cui lo sviluppo di questa metodologia si sta affermando sempre più sono in notevole aumento nonostante a livello normativo non vi sia ancora nessuna imposizione specifica.

In Italia, attraverso il D.Lgs. 50/2016 è stato emanato il nuovo Codice Appalti, oggi ancora incompleto, che rivoluzionerà integralmente il mondo degli appalti pubblici. Una delle modifiche sostanziali che apporterà il nuovo Codice consiste nell'introduzione del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica sostitutivo dello Studio di Fattibilità:

“Il progetto di fattibilità tecnica ed economica individua, tra più soluzioni, quella che presenta il miglior rapporto tra costi e benefici per la collettività, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e prestazioni da fornire. Ai soli fini delle attività di programmazione triennale dei lavori pubblici.”<sup>15</sup> ciò significa che fin dalla prima fase di progettazione vi sarà un aumento della documentazione e della qualità, anche questa rivoluzione influirà sicuramente sull'utilizzo e sullo sviluppo della metodologia BIM.

---

<sup>14</sup> Fonte: <https://www.edilportale.com/>

<sup>15</sup> D.lgs 50/2016 Parte 1, titolo III, art.23 comma 1, lettera h



## 7.2 Il concetto di CDE o ACDat

La definizione del CDE nella versione definitiva dalle PAS inglesi, o ACDat<sup>16</sup> è una parte cruciale del processo di orientamento al BIM. Nel caso studio descritto è stato definito un ambiente di raccolta organizzata e condivisione dei dati relativi a modelli ed elaborati digitali, in questo ambiente viene definito l'archivio di condivisione dati (ACDoc<sup>17</sup>), un archivio di raccolta organizzata.

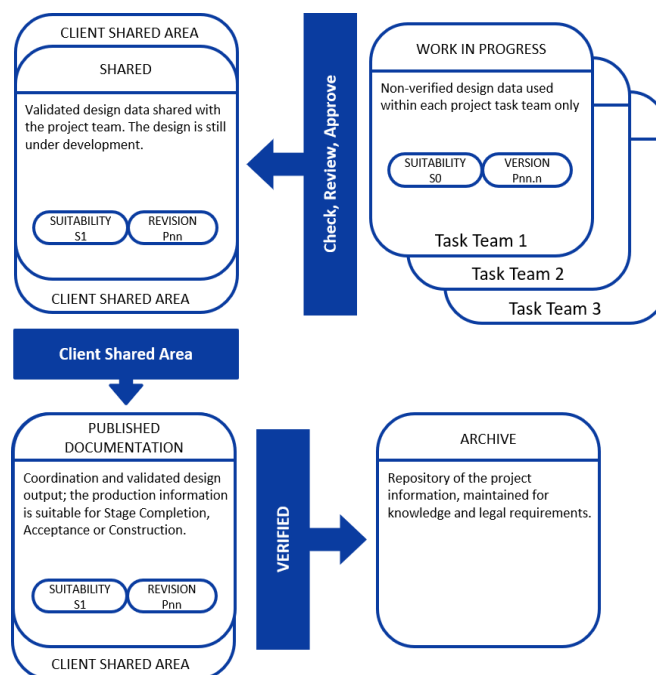


Figura 13: Ambiente di condivisione dei dati <sup>12</sup>

La struttura dell'ambiente di condivisione dati prevede la suddivisione nelle seguenti parti:

- **“Work in Progress” (WIP):** Primo livello in cui avviene la realizzazione, la verifica e la validazione della progettazione;
- **“Shared”:** l'area di condivisione. Il passaggio in questo ambito avviene una volta che è stato effettuato il primo livello di verifica e validazione, definendo quindi il secondo livello di revisione della progettazione e dei modelli che, nel caso in cui non rispettino le esigenze, possono tornare indietro alla fase di WIP;
- **“Published”:** l'area di pubblicazione, in cui la progettazione è stata validata a tutti gli effetti ed è pertanto pronta per le successive fasi procedurali e di esecuzione;
- **“Archive”:** ovvero lo storico della documentazione di progetto.

<sup>16</sup> Ambiente di condivisione dati (ACDat): Ambiente di raccolta organizzata e condivisione dei dati relativi a modelli ed elaborati digitali, riferiti ad una singola opera o ad un singolo complesso di opere.  
 NOTA – Corrispondente al termine anglosassone CDE Common Data Environment.

<sup>17</sup> Archivio di condivisione documenti (ACDoc): Archivio di raccolta organizzata e condivisione di copie di modelli e copie od originali di elaborati su supporto non digitale, riferiti ad una singola opera o ad un singolo complesso di opere.

NOTA – Corrispondente al termine anglosassone: Data Room

## 7.4 Codifica del modello

Per quanto riguarda la codifica del modello è stato utilizzato come riferimento una British Standard ovvero la BS 1192:2007.

Table 4 Examples of field usage

Fields	Directories (see 5.4.2)	Files (see 5.4.3)	Containers within files including layers (see 5.4.4)	Clause
Project	PR1	PR1		6
Originator		XYZ		7
<sup>(A1)</sup> Volume or system <sup>(A1)</sup>		<sup>(A2)</sup> 01 <sup>(A2)</sup>		8.1.2
Levels and locations		01		8.1.3
Type		M3		9
Role		A	A	10
Classification		<sup>(A1)</sup> Uniclass <sup>(A1)</sup> (optional)	<sup>(A1)</sup> Uniclass <sup>(A1)</sup>	11
Presentation			M	12
Number		0001		13
Description (optional)			Doors	14
Suitability (optional)	S1	S1		15.2.2
Revision (optional)	<sup>(A1)</sup> P02 <sup>(A1)</sup>	<sup>(A1)</sup> P02 <sup>(A1)</sup>		15.2.3
Name	PR1-S1-P2	<sup>(A2)</sup> PR1-XYZ-01-01-M3-A-0001 <sup>(A2)</sup>	A- <sup>(A1)</sup> Uniclass <sup>(A1)</sup> -M_Doors	

Figura 14: Esempio di codifica

Nella quale vengono elencati i campi da inserire in un codice, ovvero:

- **Project:** Codice alfanumerico di tre caratteri che identifica il progetto.
- **Originator:** Codice alfanumerico di tre caratteri (ad eccezione del main contractor che è definito da un codice di due caratteri) che indica l'organizzazione responsabile di un determinato esempio del progetto.
- **Zone:** Codice numerico di uno/due caratteri in funzione del livello di complessità del progetto, che identifica la suddivisione in zone del manufatto o del complesso, in alternativa il complessivo.
- **Level:** Codice alfanumerico di due caratteri che individua la tipologia di elaborato (es. GF Ground Floor, 01 First Floor, ZZ Multiple levels).
- **File Type:** Codice alfanumerico di due caratteri che individua la tipologia di elaborato (es. DR per files bidimensionali, M3 per il modello tridimensionale, BQ per computo e SU per la documentazione di rilievo).
- **Role:** Codice singolo che indica la disciplina di riferimento del contenuto, non la specifica organizzazione responsabile. Il codice è raccomandato dalla BS1192 (es. A per ciò che si riferisce alla disciplina architettonica, M per gli aspetti meccanici).
- **Number:** Codice numerico progressivo di quattro/sei caratteri in funzione della complessità del progetto (es. 000001 per ogni disciplina). Nei primi caratteri è possibile introdurre un suffisso per specificare ulteriormente la disciplina, in modo da rendere parlante il codice.

Esempio: SEB\_LMB\_00\_ZZ\_M3\_STR\_000001

Il file va collocato nella cartella di riferimento rispetto al grado di suitability al coordinamento e rispetto al grado di revisione del progetto.

Status	Description
<b>Work in Progress (WIP)</b>	
S0	Initial status or WIP Master document index of file identifiers uploaded into the extranet.
<b>Shared</b>	
S1	Issued for co-ordination The file is available to be "shared" and used by other disciplines as a background for their information.
S2	Issued for information
S3	Issued for internal review and comment
S4	Issued for construction approval
S5	Issued for manufacture
S6	Issued for PIM authorization (Information Exchanges 1-3)
S7	Issued for AIM authorization (Information Exchange 6)
D1	Issued for costing
D2	Issued for tender
D3	Issued for contractor design
D4	Issued for manufacture/procurement
AM	As maintained
<b>Published documentation</b>	
A	Issued for construction
B	Partially signed-off: For construction with minor comments from the client. All minor comments should be indicated by the insertion of a cloud and a statement of "in abeyance" until the comment is resolved, then resubmitted for full authorization.
AB	As-built handover documentation, PDF, native models, COBie, etc.

Figura 15: WIP

La *suitability* indica il grado di precisione del file per il coordinamento; la *revision* indica la sequenza dell'informazione contenuta nel file, e quindi la versione/il grado di revisione del progetto.

Definendo quindi, il processo di produzione del modello e basandosi sulla CME (Common Data Environment) descritta in precedenza è stato possibile strutturare all'interno di un ambiente condiviso le seguenti cartelle di progetto:

- Parigi-SEB (Nome caso studio)
  - CDE/ACDat
    - WIP
      - S0
        - SEB\_NWC
        - SEB\_DOC
        - SEB\_DWG
        - SEB\_PDF
        - SEB\_RFA
        - SEB\_RVT
        - SEB\_LMB\_00\_ZZ\_M3\_CON\_000001

- SEB\_LMB\_00\_ZZ\_M3\_STR\_000001
- SEB\_LMB\_00\_ZZ\_M3\_STR\_000001
  - SEB\_LMB\_00\_ZZ\_M3\_STR\_000001
  - SEB\_LMB\_00\_ZZ\_M3\_ARCH\_000001
    - SEB\_LMB\_00\_ZZ\_M3\_ARCH\_000001
  - SEB\_XLSX
- SHARED
  - S1\_coordination
  - S2\_information
  - S3\_internal review and comment
  - ...
- PUBLISHED
- ARCHIVE

## 8.0 La Modellazione InfraBIM 3D

Nel seguente capitolo vengono espone le fasi principali per l'ottenimento del modello InfraBIM della stazione metropolitana oggetto di studio. L'intera procedura relativa all'ambito della modellazione è stata eseguita attraverso l'utilizzo del software Autodesk Revit attraverso un processo metodologico descritto in seguito.

I modelli di coordinamento realizzati sono stati:

- **Modello del Contesto**
- **Modello Strutturale**
- **Modello Architettonico**

Per il contesto del caso studio e lo scavo rispetto alla già definita WBS si analizzano le lavorazioni compiute per ciascuna delle macro e micro fasi.

Nell'immagine sottostante è possibile notare l'avanzamento dello scavo verticale relativo al corpo centrale della Stazione Metropolitana di Sevran-Beaudottes.

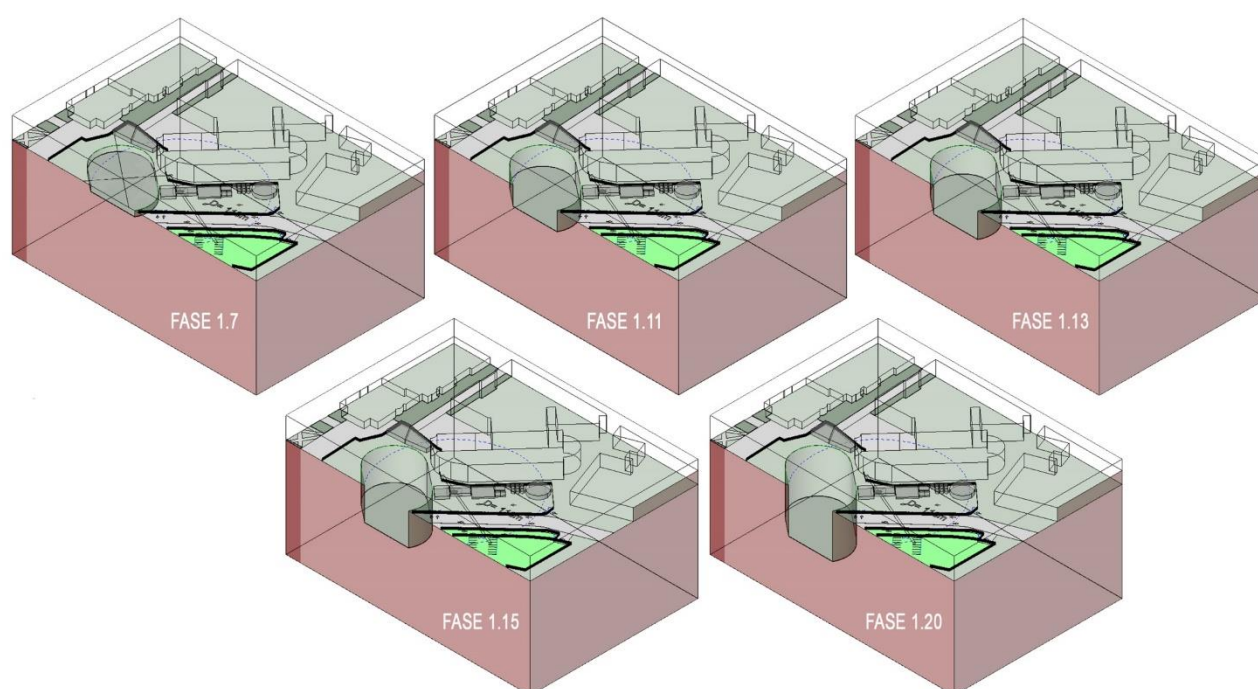


Figura 16: Gestione delle Fasi del Modello Contesto

Per quanto riguarda il file di coordinamento strutturale le molteplici fasi hanno reso più articolato il lavoro di modellazione si riportano quindi in seguito le cinque fasi più significative e rappresentative dell'intero processo di realizzazione del modello tridimensionale InfraBIM. Il modello di coordinamento strutturale è stato utilizzato per la realizzazione delle *Schedule*<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> Schedule: è possibile creare abachi per fasi specifiche di un progetto, in modo da tenere traccia dell'evoluzione del progetto nel corso del tempo

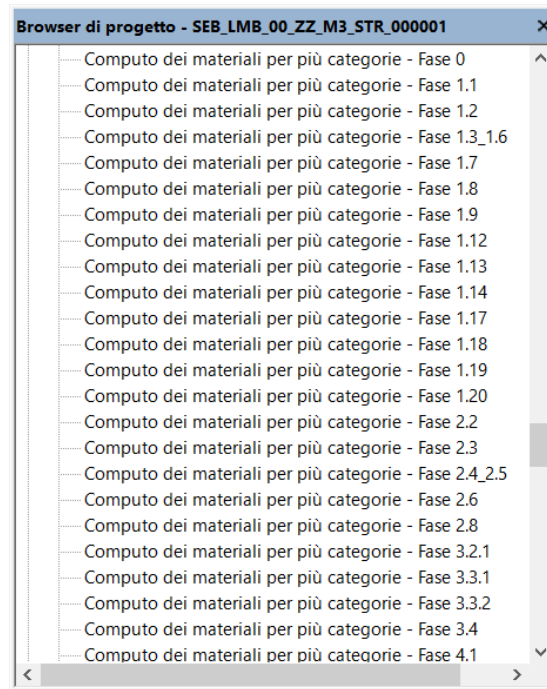


Figura 17: Abachi multicategoria per Fasi

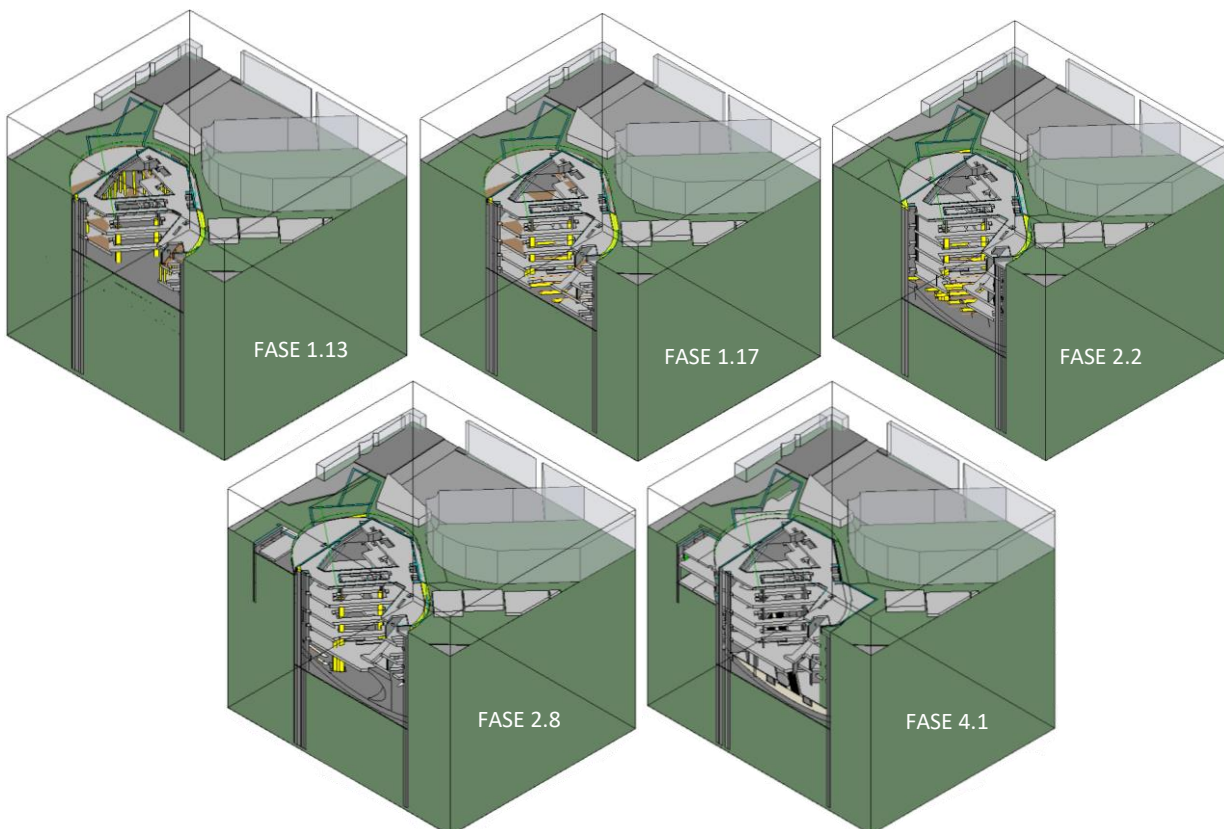


Figura 18: Gestione delle Fasi del Modello Strutturale

Dalle fasi dell'ambito strutturale, si può notare l'applicazione di un filtro in modo tale da caratterizzare gli elementi temporanei all'interno degli abachi.

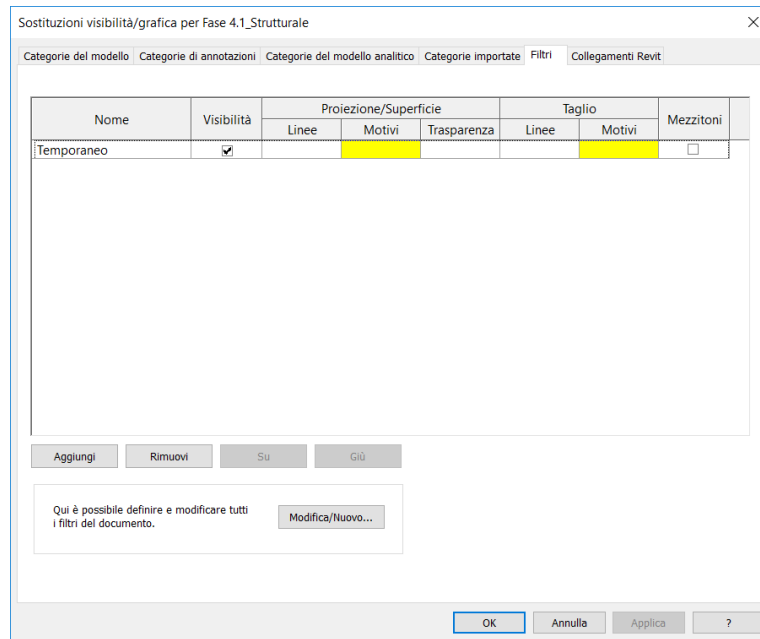


Figura 19: Gestione visibilità grafica

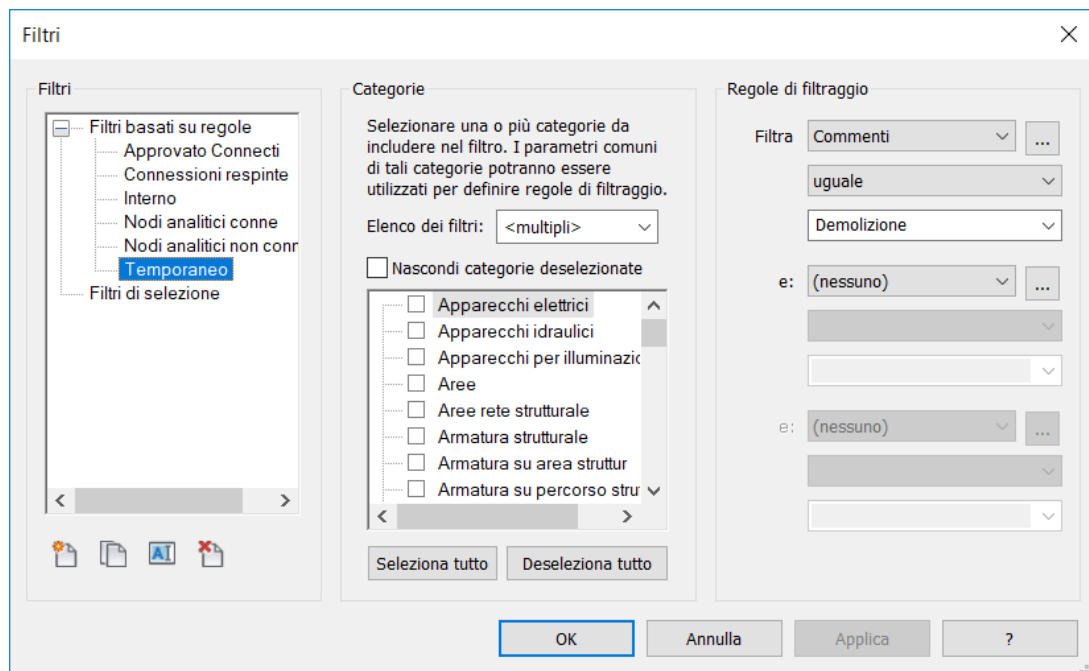


Figura 20: Gestione filtri

Viene infine realizzato il modello architettonico andando a inserire muri di tramezzo, aperture, scale, scale mobili, muri architettonici obliqui, tutto il piano fuori terra caratterizzato da una copertura in vetro e i locali.

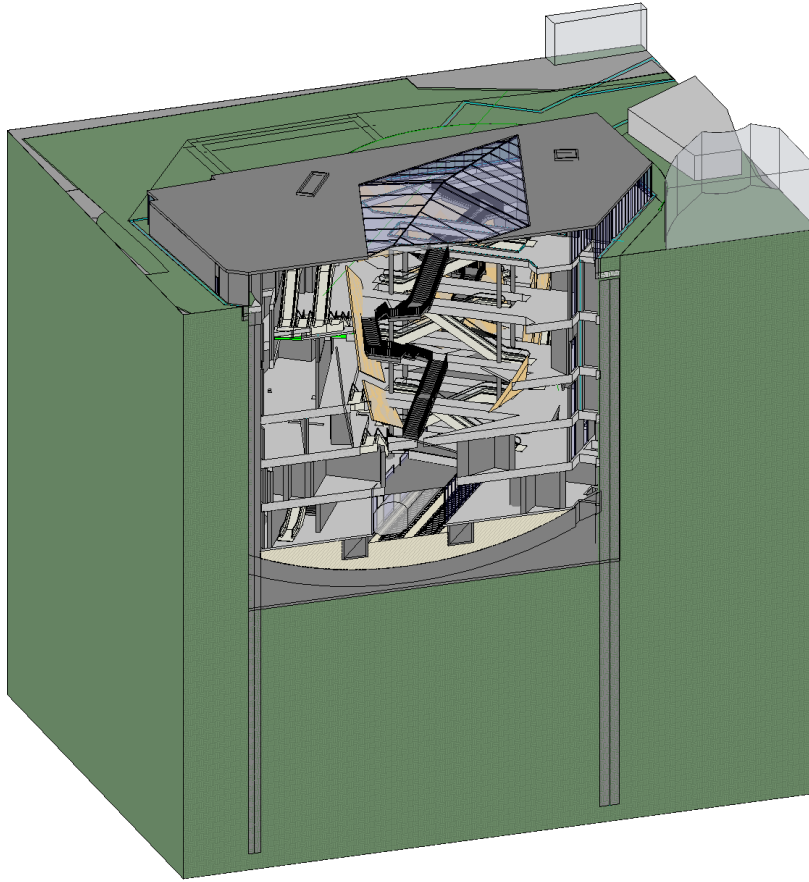


Figura 21: Modello di coordinamento

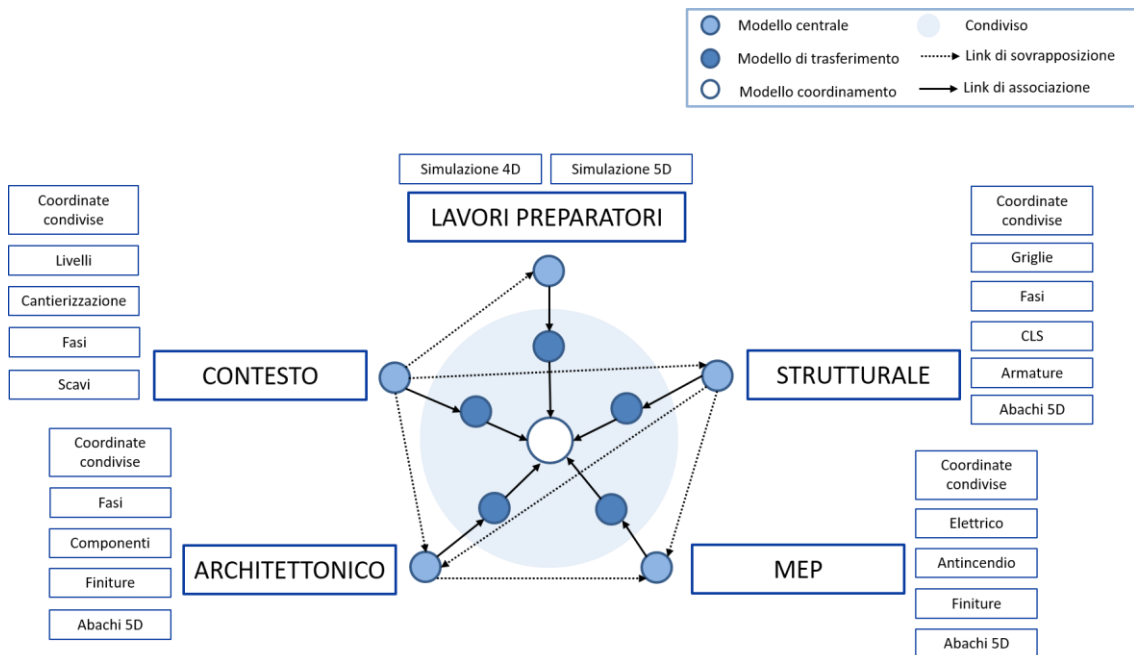


Figura 22: Schema modello di coordinamento



Viene definita nell'immagine seguente il sistema complessivo della suddivisione del lavoro in funzioni distinte e il loro successivo coordinamento:

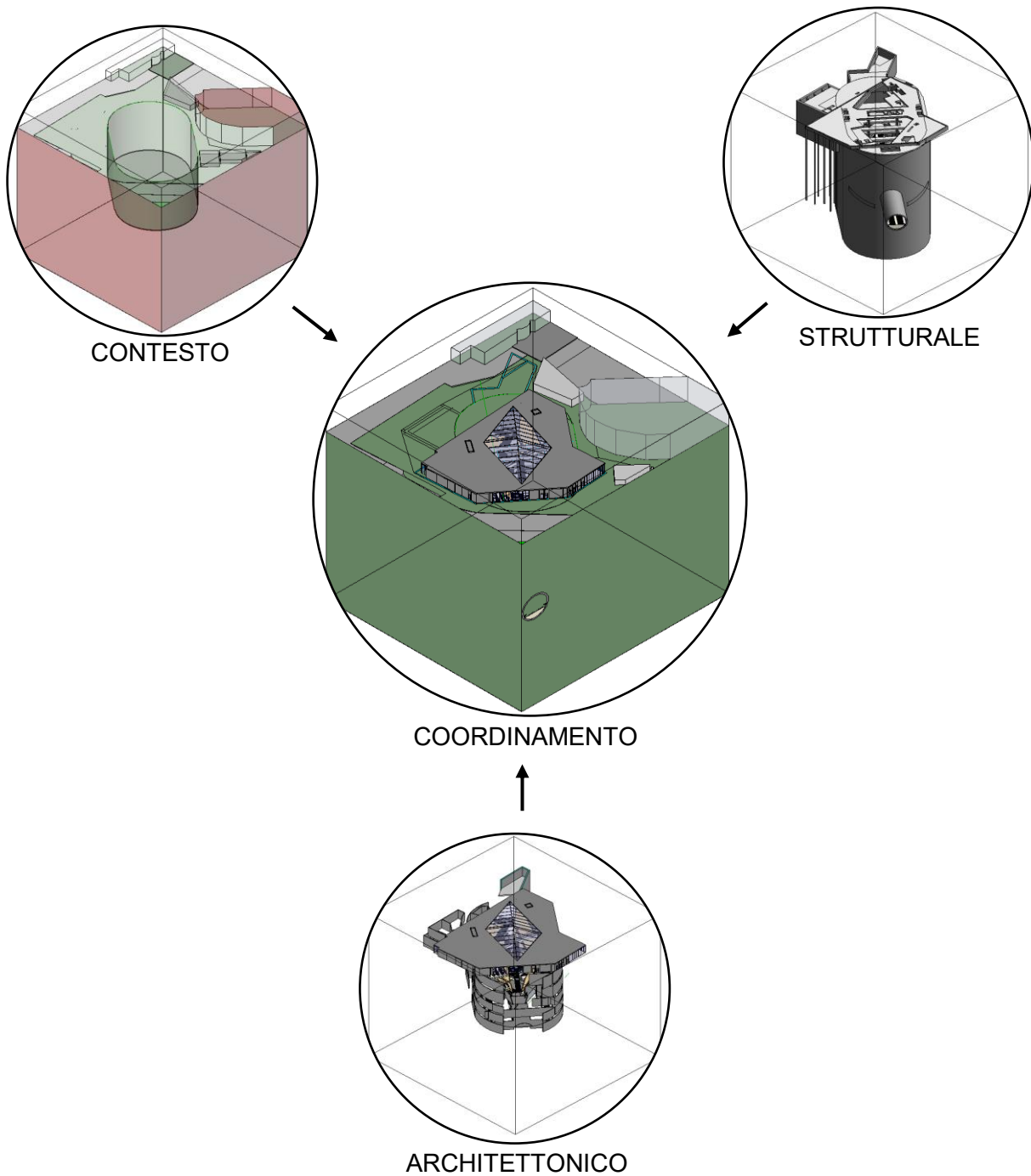


Figura 23: Modello di coordinamento

## 8.1 Organizzazione Browser di progetto

Nel Browser di progetto come mostrato in figura viene visualizzata una gerarchia logica di tutte le viste, tutti gli abachi, tutte le tavole, tutti i gruppi e altri componenti del progetto corrente. Attraverso l'espansione e la riduzione delle singole caselle diventa possibile visualizzare gli elementi dei livelli inferiori.

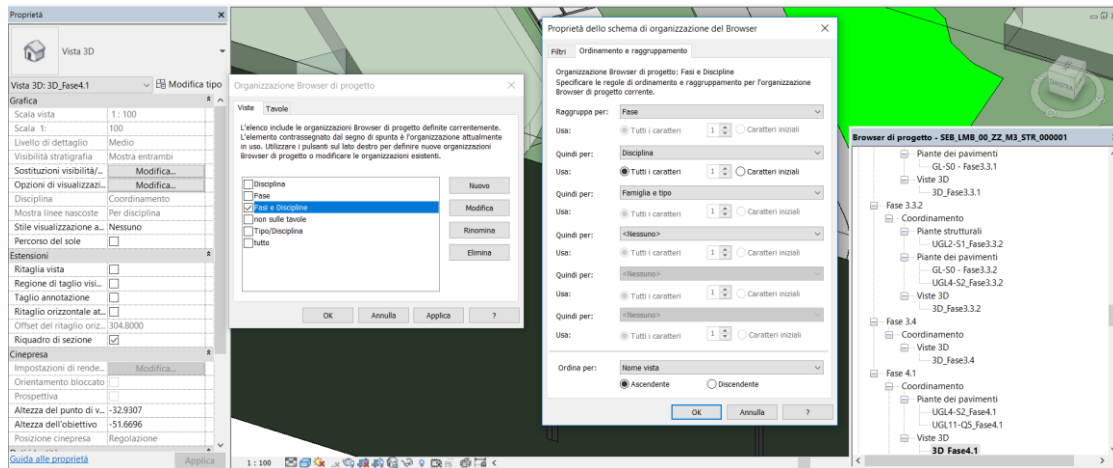


Figura 24: Browser di progetto

Il Browser di progetto è stato organizzato prima per fase<sup>19</sup> e poi per disciplina, in modo da avere le viste raggruppate correttamente secondo l'uso/obbiettivo del modello.

## 8.2 Posizione del progetto

Viene impostata la posizione del caso studio sul modello attraverso la localizzazione Internet fornita dal software:

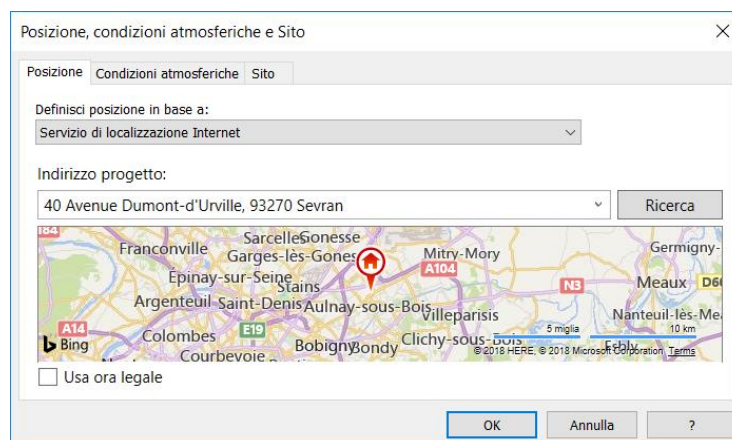


Figura 25: Localizzazione Internet

<sup>19</sup> Fase: Periodo distinto della vita del progetto

Una volta definita la posizione di progetto si definisce il punto di rilevamento interno e il punto base progetto e rendendoli visibili è possibile sovrapporli in modo tale che coincidano. Viene successivamente utilizzato lo strumento di coordinate condivise per stabilire la posizione relativa dei diversi file (contesto, strutturale e architettonico) e assicurarsi che tali relazioni vengano mantenute. Per definire una posizione comune delle coordinate e quindi condividere tale posizione tra i file, è possibile utilizzare lo strumento “Acquisisci coordinate” e “Pubblica coordinate”.

## 8.3 Fasi

Nell'ottica di una simulazione dei tempi, la realizzazione del modello per fasi assume un significato di fondamentale importanza per una facilitazione nell'approccio ai software che vengono utilizzati successivamente. A questo proposito è necessario definire una corretta codifica delle fasi di costruzione e realizzazione all'interno del modello.

La nomenclatura prevede un duplice livello:

- Il primo livello definisce la macro fase di appartenenza;
  - Il secondo livello invece è definito attraverso un numero progressivo rispetto al numero di macro fase.
- Esempio:

1. Fase cantiere 1
  - 1.1. Cantierizzazione e prova di pompaggio
  - 1.2. Iniezioni fondo scavo
  - 1.3. ...
2. Fase cantiere 2
  - 2.1. Cantierizzazione
  - 2.2. Realizzazione lastra fondo scavo
  - 2.3. ...

Vengono così definite le fasi di realizzazione del file contesto e di quello strutturale, qui sotto elencatesi riportino le Fasi del progetto strutturale.

PASSATO		
	Nome	Descrizione
1	Fase 0	Stato di fatto
2	Fase 1.1	Cantierizzazione e prova di pompaggio
3	Fase 1.2	Iniezioni fondo scavo
4	Fase 1.3_1.6	Diaframmi
5	Fase 1.7	Installazione gru e primo scavo (fino a SC1)
6	Fase 1.8	Disposizione primo ordine di puntoni e secondo scavo (fino a SC
7	Fase 1.9	Carpenteria, armatura e getto solette livello RdC (S0) e S1
8	Fase 1.11	Scavo (fino al livello SC3)
9	Fase 1.12	Carpenteria, armatura e getto soletta S2
10	Fase 1.13	Scavo (fino al livello SC4)
11	Fase 1.14	Carpenteria, armatura e getto soletta S3
12	Fase 1.15	Scavo (fino al livello SC5)
13	Fase 1.17	Esecuzione parziale soletta livello S4 e secondo ordine puntoni pr
14	Fase 1.18	Scavo (fino al livello SC6)
15	Fase 1.19	Terzo ordine di puntoni
FUTURO		

Figura 26: Fasi con relativa Descrizione

Definiti i nomi Fase e le rispettive descrizioni, si procede con l'assegnamento del modello di vista. Un modello di vista è un insieme di proprietà della vista, quali scala, disciplina, livello di dettaglio e impostazioni di visibilità. Lo scopo dei modelli di vista consiste nell'applicazione di impostazioni

standard alle viste. I modelli di vista possono contribuire a garantire la conformità agli standard aziendali e la coerenza tra i vari gruppi di documenti di progetto.

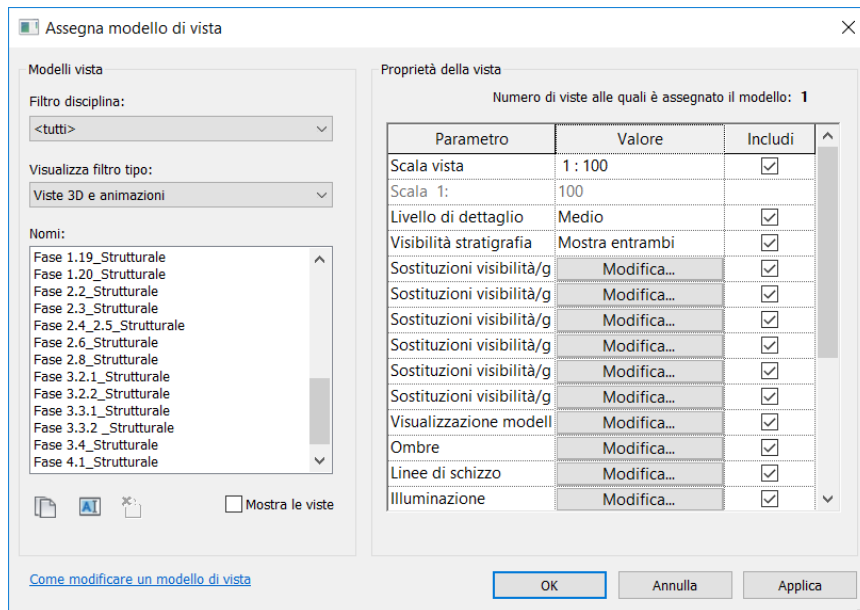


Figura 27: Modello di vista

Prima di creare modelli di vista, è necessario innanzitutto determinare il modo in cui vengono utilizzate le viste. È possibile creare un modello di vista per ogni stile per controllare le impostazioni per le sostituzioni visibilità/grafica di categorie, scale delle viste, livelli di dettaglio, opzioni di visualizzazione grafica e così via.

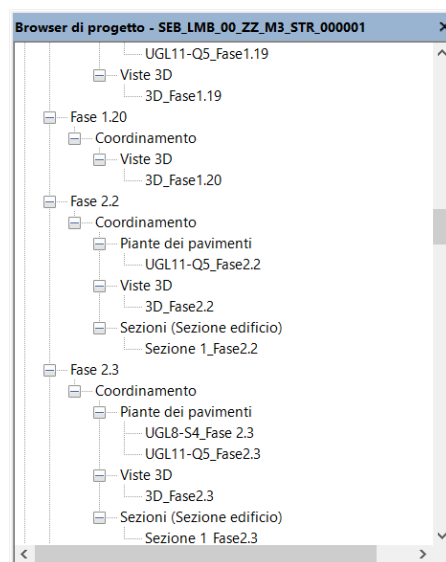


Figura 28: Browser di progetto

I parametri ed i relativi valori inclusi in un modello di vista non possono essere modificati se non modificando le proprietà della vista tramite modello di vista; per poter editare i valori senza ogni volta modificare il modello di vista è necessario togliere la spunta dalla casella includi.

Nel caso presentato i modelli di vista sono organizzati per fasi; questa impostazione è necessaria anche per la visualizzazione del modello di disciplina una volta inserito nel modello di coordinamento, in quanto le fasi dei diversi modelli collegati devono coincidere.

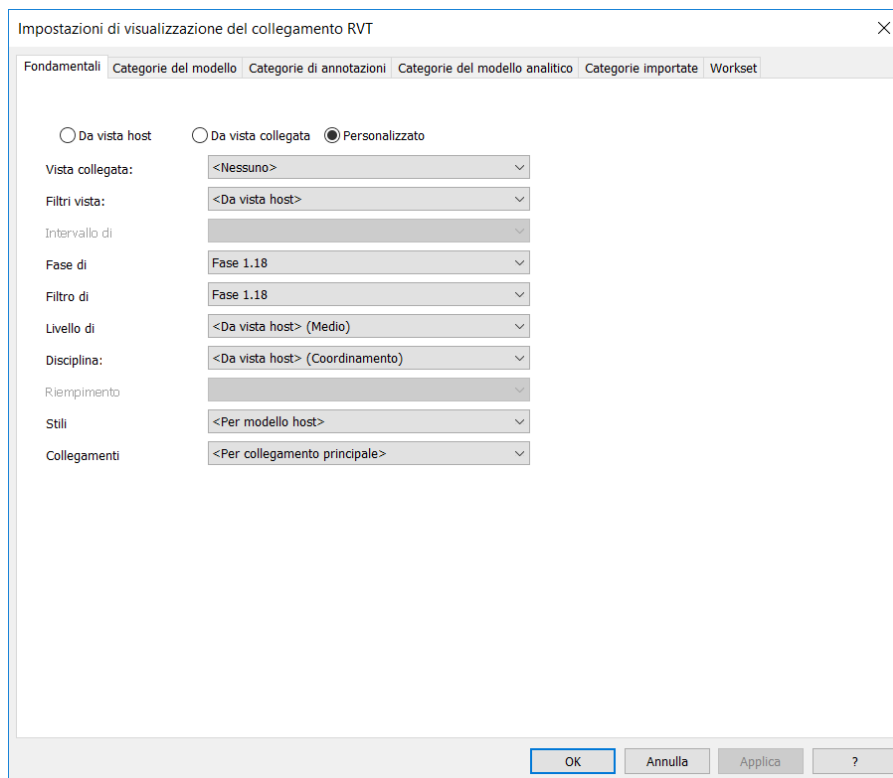


Figura 29: Opzione di visualizzazione Fase - Filtro

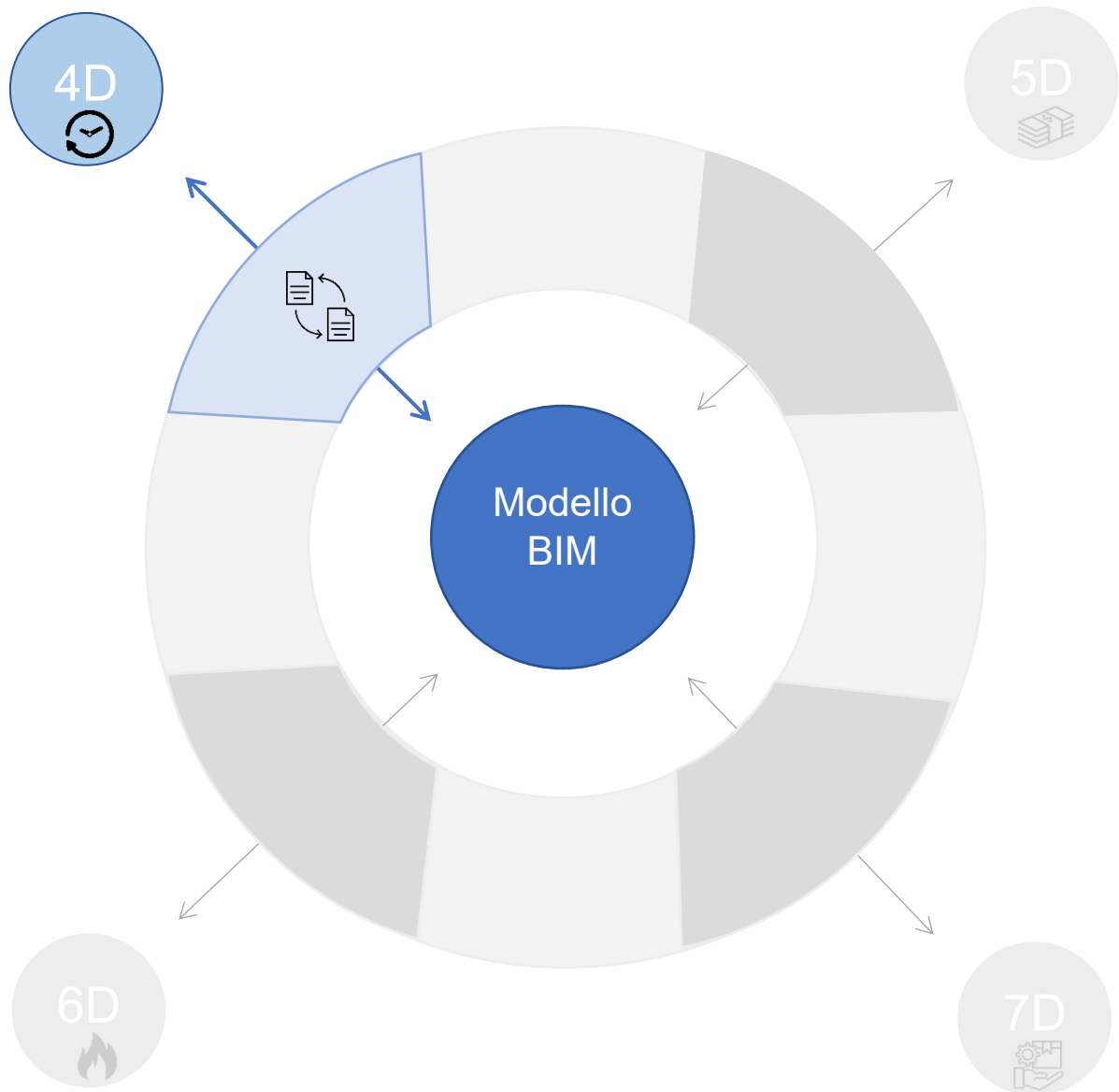
In questo caso si noti come il collegamento Revit con il file di contesto:

“SEB\_LMB\_00\_ZZ\_M3\_CON\_000001”,

sia filtrato la fase in modo tale che lo scavo della Fase 1.18 corrisponda alla costruzione/demolizione realizzata a livello strutturale nel file:

“SEB\_LMB\_00\_ZZ\_M3\_STR\_000001”.

# InfraBIM per il 4D







## 9.0 Analisi e Pianificazione edilizia

La pianificazione e la programmazione edilizia vanno a coinvolgere svariate tipologie di attività in un già definito contesto spazio-temporale. Inizialmente le pianificazioni dei progetti venivano eseguite utilizzando dei grafici a barre che purtroppo non permettevano una lettura trasparente del progetto, infatti non si riusciva a spiegare il collegamento relativo ad alcune attività in una data sequenza, né a calcolare il percorso critico<sup>20</sup> per arrivare al termine del progetto. Oggi i professionisti del settore utilizzano generalmente dei software di programmazione che si basano sulla metodologia Critical Path Method (CPM) come Microsoft Project, Primavera SureTrak o P3. Queste applicazioni rispetto ai grafici prima descritti, riescono a comunicare in modo più diretto con il soggetto esterno al progetto. Tra le più sofisticate metodologie di pianificazione, sono incluse delle prove basate sulla statistica e sull'aleatorietà, come per esempio la simulazione *Monte Carlo*. I metodi tradizionali, tuttavia, non vanno a consentire un'acquisizione delle componenti spaziali di tali attività e non possono collegarsi direttamente al progetto o al modello tridimensionale realizzato. La programmazione continua a rimanere quindi un'attività che spesso non risulta sincronizzata con il progetto e per i soggetti coinvolti, generando complessità nella comprensione della pianificazione e l'influenza sulla logistica di cantiere. Anche in questo caso, solo i professionisti, ovvero le persone che conoscono il progetto e le modalità di costruzione possono stabilire se è possibile attenersi alla pianificazione. Per superare le difficoltà di questi software è stato analizzato il caso studio attraverso il programma **Autodesk Navisworks**, il quale associa gli elementi nell'ambiente BIM con le relative tempistiche per la pianificazione delle attività di costruzione ed il tipo di attività (costruzione o demolizione come si può notare nella figura) [4].

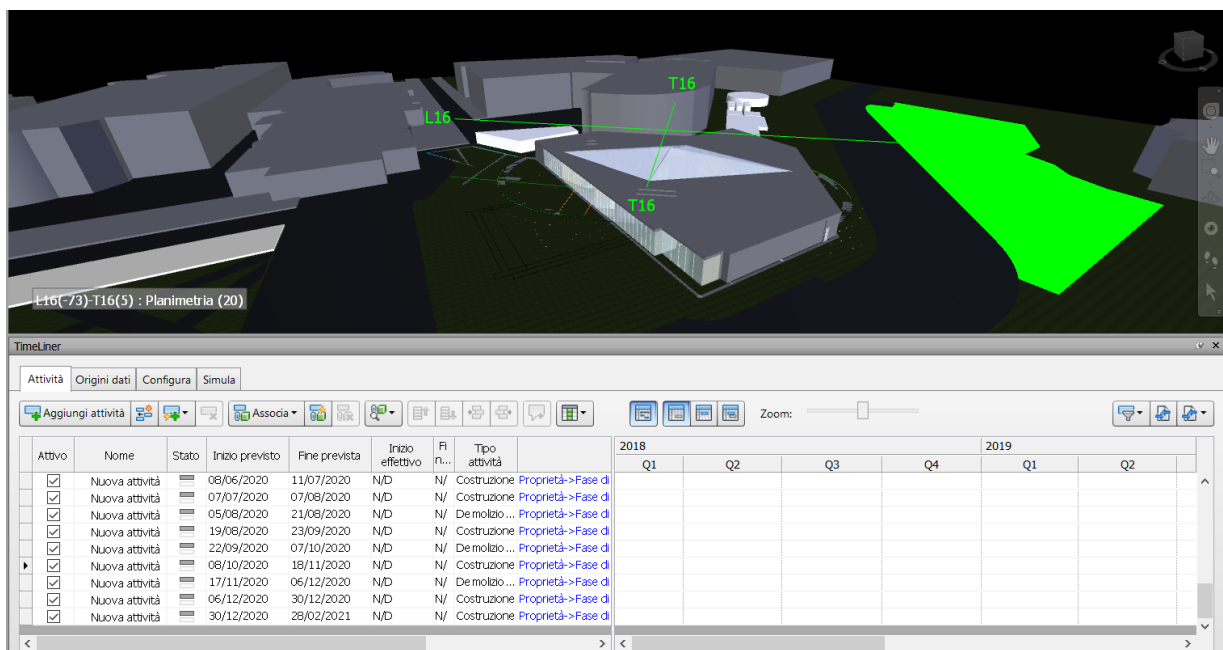
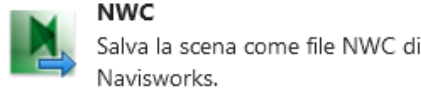


Figura 30: Impostazioni Navisworks

<sup>20</sup> Percorso critico: Catena di più attività collegate che va ad un influire sulla data di termine progetto

Il pacchetto “Manage” va a comprendere tutte le funzioni dell’ambiente di visualizzazione di Navisworks e riesce a supportare molti formati BIM e migliori capacità nella visualizzazione. Nel nostro caso si è esportato dal software Revit in formato .nwc che consente un’elevata interoperabilità con il software Autodesk per la pianificazione.



Navisworks offre degli strumenti e delle funzionalità avanzate che consentono una migliore pianificazione. Uno dei vantaggi che offre questo ambiente è la possibilità di associare gli oggetti di progettazione multidisciplinare creati nel modello BIM con l’analisi delle tempistiche sviluppata con il software Project in un unico modello. Il nostro caso studio è caratterizzato dai seguenti file:

- **Modello del Contesto**
- **Modello Strutturale**
- **Modello Architettonico**

Questa permette quindi in forma virtuale la visualizzazione della sequenza costruttiva dell’infrastruttura. Il software consente anche ai professionisti del settore di pianificare visivamente in modo rapido le attività utilizzando animazioni 4D sotto forma di filmati; inoltre è l’animazione delle fasi di costruzione/demolizione può essere caratterizzata da associazioni di colore che rendono più intuitive le sequenze:

- **Costruzione** – Verde: Le lavorazioni che implicano posa di materiali in via definitiva;
- **Demolizione** – Rosso: Le lavorazioni che implicano la rimozione di materiali in via definitiva;
- **Temporanee** – Giallo: Le opere provvisorie, quali casserature, puntoni e le misure di sicurezza.

Attraverso l’importazione delle tempistiche e impostando delle regole nell’apposita sezione per realizzare un collegamento tra elementi grafici provenienti dall’ambiente Revit e le lavorazioni del Gantt, si genera un modello dinamico.

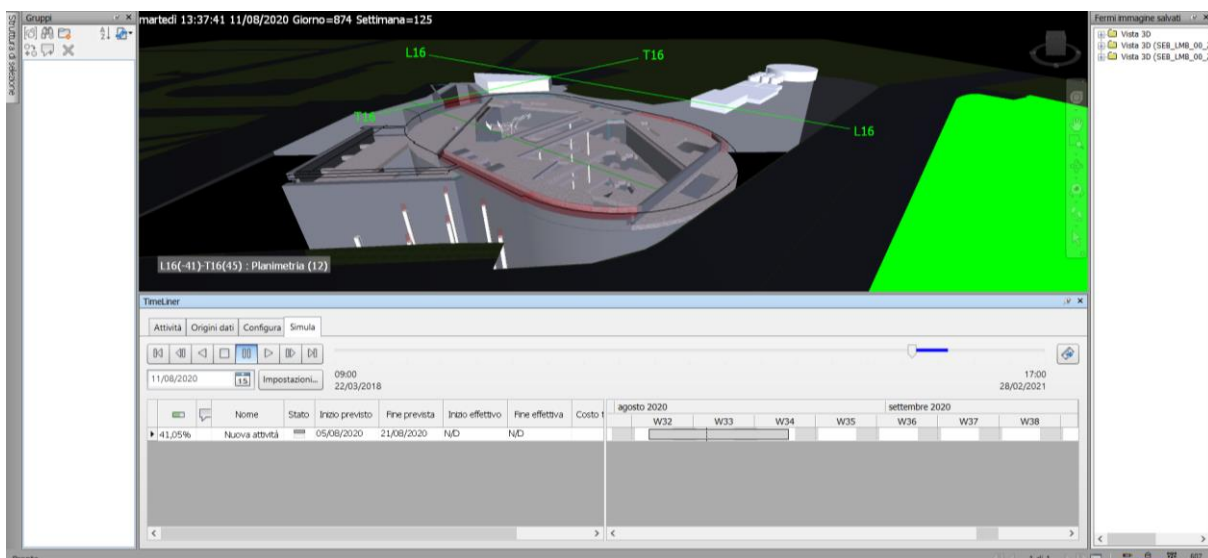


Figura 31: Visualizzazione demolizione

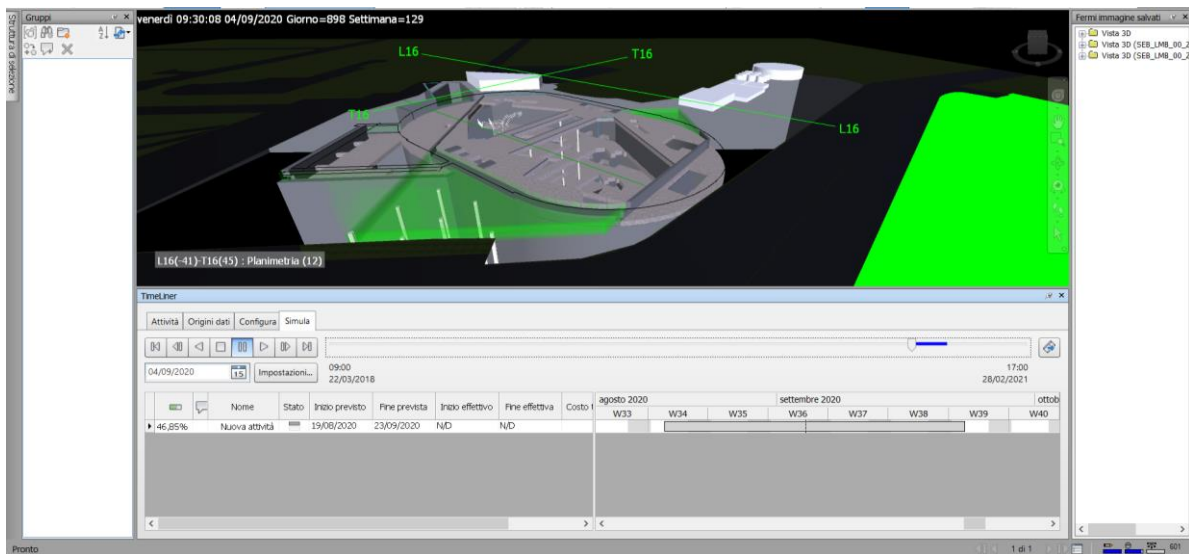


Figura 32: Visualizzazione nuova costruzione

L'utilizzo della metodologia BIM permette ai professionisti di verificare la costruzione, la revisione e la modifica dei modelli 4D più frequentemente, rendendo le programmazioni più precise ed affidabili e la visualizzazione più rapida. I responsabili delle pianificazioni possono usufruire di un'ampia gamma di strumenti e di molti processi per realizzare i modelli 4D, nel nostro caso si è proceduto all'esportazione di un modello 3D/BIM nel software 4D, che ha sfruttato una pianificazione fornita e inserita manualmente associandola alle fasi già note perché definite nel modello tridimensionale.

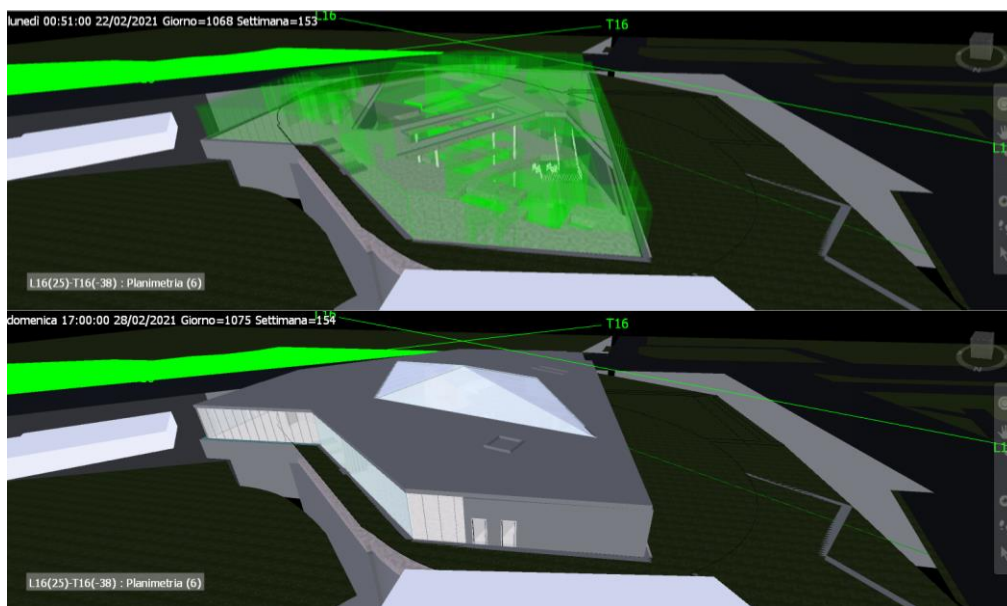


Figura 33: Visualizzazione nuova costruzione - Architettonico

Grazie al modello BIM è possibile quindi esaminare e simulare anche più ipotesi di cantiere, visto che il modello dinamico permette l'analisi visiva e virtuale delle criticità e delle interferenze che

---

possono risultare tra le lavorazioni contemporanee. Tale metodo permette quindi di valutare non solo le scelte operative ma anche più soluzioni tecnologiche, consentendo di effettuare scelte con più consapevolezza in relazione agli output virtuali che tengono in considerazione più fattori, quali contesto, mezzi di cantiere, logistica e stoccaggio, quantità e caratteristiche dei materiali, forniture e posa in opera, costi e impatto ambientale.

## 9.1 Vantaggi dei modelli 4D

Gli strumenti 4D (Time scheduling) consentono, come si è visto precedentemente, di simulare e valutare la sequenza costruttiva e di condividerla. Tutti gli elementi del modello costruttivo sono già raggruppati in base alle fasi costruttive di realizzazione ed è quindi semplice associarli alle opportune tempistiche<sup>21</sup>.

Tutte i lavori preparatori per il cantiere, impostati nel software di modellazione parametrica e quindi anche quelli provvisori e lo stoccaggio, dovrebbero essere inclusi nel modello. Le simulazioni 4D sono utili prevalentemente come mezzo per il rilevamento dei potenziali intoppi e anche come metodologia per promuovere la collaborazione. Attraverso le simulazioni 4D gli appaltatori possono così garantire alla pubblica amministrazione la fattibilità del progetto e assicurare la massima efficienza. Di seguito sono elencati i principali vantaggi offerti da modelli 4D:

- **“Comunicazione”**: I progettisti che si occupano di pianificazione possono comunicare attraverso un formato digitale a tutti gli utenti coinvolti nel processo costruttivo previsto. La modellazione 4D riesce ad evidenziare gli aspetti spazio-temporali e li descrive più efficacemente rispetto al tradizionale diagramma Gantt<sup>22</sup>.
- **“Input dei vari soggetti coinvolti”**: I modelli 4D vengono spesso sfruttati per una presentazione ai non addetti ai lavori, riportando ad esempio le conseguenze che il progetto stesso può avere sul traffico o su altre questioni critiche.
- **“Logistica di cantiere”**: Come già definito in precedenza, i responsabili alla pianificazione possono utilizzare questo modello anche per definire le aree di stoccaggio, l'accesso al cantiere, il posizionamento delle grandi attrezzature, ecc.
- **“Coordinamento delle forniture”**: Il modello permette di coordinare le tempistiche e lo spazio previsto per il carico e lo scarico in cantiere per coordinare al meglio i lavori negli spazi che hanno dimensioni ridotte.
- **“Confronto della programmazione con lo stato di avanzamento dei lavori”**: i Project Manager possono attuare con facilità un confronto in qualsiasi momento durante l'iter realizzativo e verificare se il progetto riesce a rispettare o meno i tempi del programma studiato [4].

Se il modello 4D viene usato in modo corretto i benefici derivanti da questo processo, sia in termini di costo che di tempo risultano di gran lunga superiori al costo di adozione iniziale.

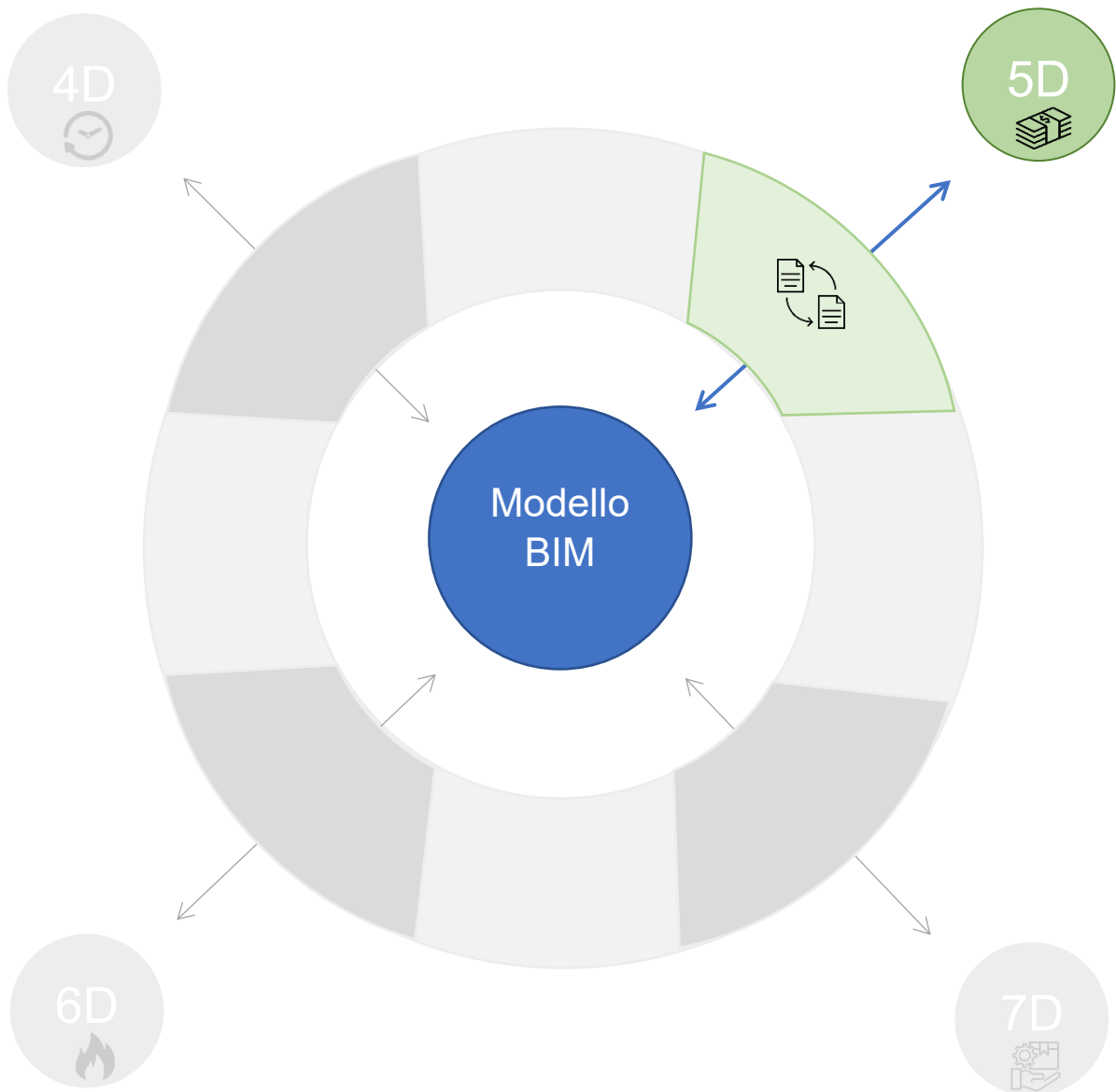
---

<sup>21</sup> Esempio: Se il diaframma in calcestruzzo ha una realizzazione che comprende più fasi distinte, vi è la necessità di articolare con più sezioni che ci consentono la pianificazione e l'illustrazione della sequenza.

<sup>22</sup> Strumento di supporto alla gestione dei progetti



# InfraBIM per il 5D







## 10.0 Affidabilità dei costi

Nel mondo delle costruzioni, i committenti sfiorano spesso i costi previsti inizialmente a causa di spese non previste che li costringono a superare il budget considerato. “Il superamento dei costi interessa oltre i due terzi dei committenti” [4]. Dai dati visionabili emerge che la causa è assolutamente indipendente dal valore globale della commessa che si deve realizzare, l'82% delle problematiche sono riguardanti la completezza e l'adeguatezza degli elaborati; solo il 3% è riferito alla non osservanza della normativa vigente; la congruenza tra gli elaborati nei progetti ha invece un ruolo discretamente significativo (13%), mentre il restante 2% è dovuto all'assenza di documentazione prevista da contratto [4]. È possibile quindi constatare che tutte queste criticità potrebbero essere facilmente individuate e risolte durante la fase progettuale con sistemi di *model code checking* di cui gli strumenti BIM dispongono, attraverso, ad esempio, i software Solibri e Navisworks.

La metodologia BIM è per i committenti una fonte affidabile per la realizzazione dei computi metrici estimativi “*quantity takeoff and estimating*”, inoltre fornisce un feedback diretto sul costo delle modifiche di progetto. Come si mostra nel grafico sottostante, questo è di fondamentale importanza perché l'influenza del costo sull'avanzamento del progetto è più alta all'inizio, nella fase di progettazione e di studio di fattibilità.

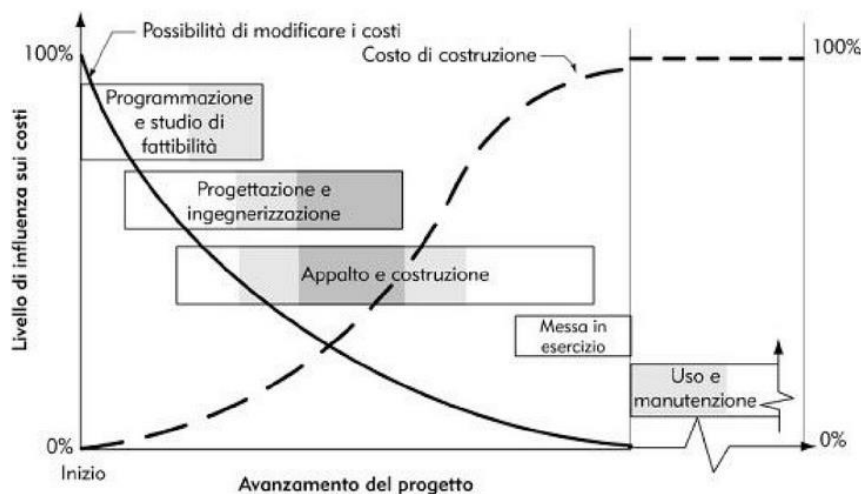


Figura 34: Grafico – Affidabilità dei costi [4]

L'utilizzo del BIM è oggi strettamente limitato alla fase progettuale avanzata e alle prime fasi di costruzione; se questa metodologia fosse applicata fin dalle prime fasi ciò influirebbe positivamente sui costi.

## 10.1 Strumenti di stima

Fino a pochi anni fa la quantità dei materiali di un progetto veniva stimata attraverso conteggi e calcoli manuali delle superfici e dei volumi, facilmente soggette a errori e *time-consuming*. I modelli BIM oggi possiedono elementi distinti che vengono facilmente computati in modo quasi automatico attraverso gli abachi, calcolando sia i volumi sia le superfici dei materiali. La stima dei costi è importante per i progettisti poiché possono esaminare durante le fasi iniziali le alternative più vantaggiose.

I dati estratti dal modello BIM possono definire un computo accurato dei materiali necessari per la stima dei costi. Mentre la maggior parte delle piattaforme BIM consente un'estrazione immediata del numero di elementi e quindi dei calcoli di aree e volumi per i propri materiali, l'estrazione dal modello di un computo metrico più sofisticato richiede software specializzati, come ad esempio Autodesk QTO (QUantity Take-Off) (QTO, 2015) o Vico Takeoff Manager (Vico, 2015). I committenti possono utilizzare le stime per definire i costi dell'intervento e per effettuare delle previsioni economiche e analisi preliminari come nel caso oggetto di studio. Queste valutazioni vengono spesso realizzate nelle prime fasi della progettazione, prima che il team sviluppi un modello completo e aggiornate nelle fasi successive. Tuttavia, in questo periodo storico di graduale passaggio al BIM per l'ambiente delle costruzioni, il software comunemente più usato per tali valutazioni è ancora Microsoft Excel. Proprio per questo motivo in questa tesi si è ricercata la massima interoperabilità tra i software per ridurre al minimo la necessità di copiare manualmente i dati già generati in altri programmi, evitando errori e incoerenze e ricercando una maggiore automazione e rapidità nella prassi progettuale. Gli output dell'analisi 5D sono stati principalmente tre:

- Realizzazione di un computo metrico direttamente sul software Autodesk Revit attraverso la realizzazione di una colonna "Materiale Quantità" nell'abaco dei materiali, contenente il volume o la superficie in funzione della categoria<sup>23</sup>.
- Possibilità di importazione automatica dei costi parametrici da un CME<sup>24</sup> (realizzato su un file Excel) nell'ambiente BIM.



- Possibilità di esportazione automatica e diretta degli abachi dei materiali Revit in un file Excel.



<sup>23</sup> Esempio: In corrispondenza del materiale calcestruzzo verrà inserito il volume mentre per il materiale per la casseratura superficie

<sup>24</sup> CME: Computo Metrico Estimativo

Per la realizzazione degli abachi si è proceduto attraverso il comando “nuovo-computo dei materiali” dal menù “Visualizza” in modo tale da estrapolare le quantità di tutti i materiali individuati nel progetto. I campi inseriti sono stati: “Materiale: Nome”, “Famiglia e Tipo”, “Materiale: Costo”, “Materiale Quantità”, “Totale Costo”. È stato quindi realizzato un abaco per ciascuna fase, ciascuna categoria e un’abaco multicategoria caratterizzato dal filtro “Mostra tutto”.

#### <Computo dei materiali pavimento>

A	B	C	D	E
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Costo	Materiale Quantità	Totale costo

Figura 35: Computo materiali pavimento

Il campo “Totale costo” è stato realizzato attraverso una formula in funzione della quantità e del costo parametrico (“Materiale: Costo”).

Figura 36: Formula per Totale Costo

Possiamo quindi concludere che in questo periodo di transito, dove la completa digitalizzazione del mondo delle costruzioni non è ancora avvenuta, è necessario adattarsi alle richieste del committente e/o della stazione appaltante. Per fare ciò sono state realizzate le metodologie precedentemente elencate e risolte attraverso il software di gestione di dati Dynamo.

## 10.2 Gestione dei dati con Dynamo

Dynamo è un programma di scripting visuale che aiuta a comporre algoritmi personalizzati per elaborare i dati e generare geometrie. Dynamo facilita la generazione di codici anche a utenti non pratici della programmazione Python. Descriviamo il software attraverso i seguenti punti:

- I nodi rappresentano oggetti o funzioni.
- È possibile collegare i nodi insieme per formare una serie di istruzioni su come elaborare i dati e/o costruire la geometria.
- Il modo in cui i nodi sono legati determinerà l'ordine delle operazioni e il flusso di dati tra i nodi viene eseguito nel grafico da sinistra a destra.

Nel caso in cui non si riesca a trovare il nodo desiderato è possibile scaricare delle raccolte di nodi create dagli utenti, note anche come pacchetti, per la risoluzione delle problematiche poste in precedenza è stato necessario scaricare i seguenti pacchetti:

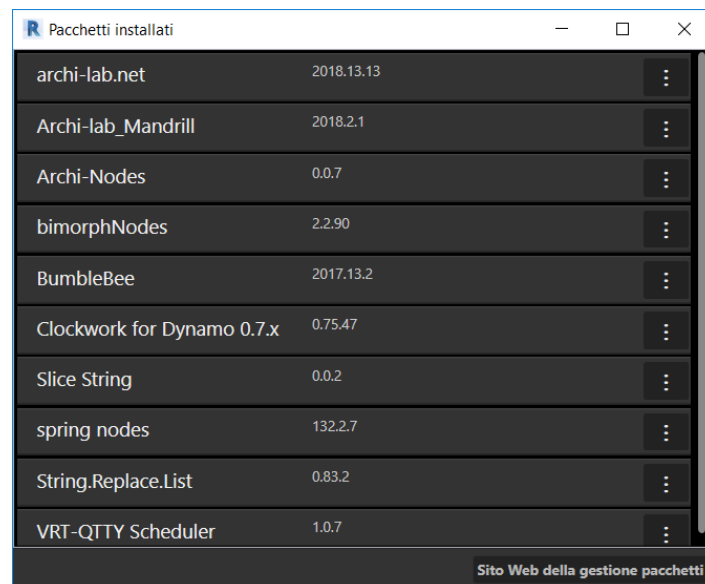


Figura 37: Pacchetti installati

I nodi inclusi in Dynamo Revit vengono invece definiti con la sigla OOTB ("out of the box") e vengono aggiornati periodicamente, per sfruttare al meglio le potenzialità del software; pertanto si è fatto riferimento all'ultima versione disponibile.

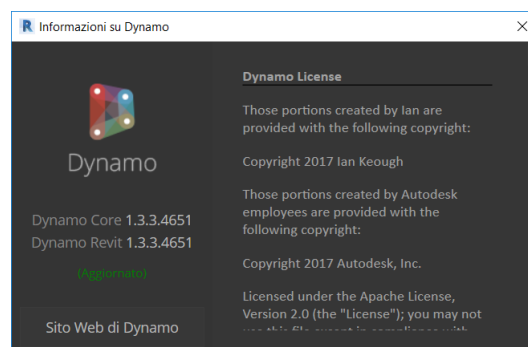


Figura 38: Versione Dynamo



## Releases

Most stable

Last Modified	Size	Key
2018-05-24T16:41:02.000Z	224971976	<a href="#">DynamoInstall2.0.1.exe</a>
2018-04-16T21:33:43.000Z	224773912	<a href="#">DynamoInstall2.0.0.exe</a>
2018-04-11T06:02:31.000Z	248273896	<a href="#">DynamoInstall1.3.3.exe</a>
2017-10-13T02:53:34.000Z	185660112	<a href="#">DynamoInstall1.3.2.exe</a>
2017-07-19T21:07:03.000Z	187574912	<a href="#">DynamoInstall1.3.1.exe</a>
2017-04-06T08:52:27.000Z	186946872	<a href="#">DynamoInstall1.3.0.exe</a>
2016-11-24T06:08:13.000Z	140033064	<a href="#">DynamoInstall1.2.1.exe</a>
2016-10-03T01:47:44.000Z	140617768	<a href="#">DynamoInstall1.2.0.exe</a>
2016-08-01T13:40:58.000Z	82988900	<a href="#">DynamoInstall1.1.0.exe</a>
2016-04-29T03:18:16.000Z	82793685	<a href="#">DynamoInstall1.0.0.exe</a>
2016-03-23T10:33:20.000Z	68623024	<a href="#">DynamoInstall0.9.2.exe</a>
2016-02-18T14:49:17.000Z	68623328	<a href="#">DynamoInstall0.9.1.exe</a>
2015-11-09T23:10:14.000Z	58397313	<a href="#">DynamoInstall0.9.0.exe</a>
2015-08-31T01:41:50.000Z	54739526	<a href="#">DynamoInstall0.8.2.exe</a>
2015-07-14T12:07:22.000Z	54449570	<a href="#">DynamoInstall0.8.1.exe</a>
2015-04-09T13:55:29.000Z	44548708	<a href="#">DynamoInstall0.8.0.exe</a>
2015-01-07T03:53:42.000Z	28012992	<a href="#">DynamoInstall0.7.5.exe</a>
2014-11-24T04:20:43.000Z	28252477	<a href="#">DynamoInstall0.7.4.exe</a>
2014-11-05T17:59:53.000Z	28457963	<a href="#">DynamoInstall0.7.3.exe</a>
2014-09-25T00:32:50.000Z	28311312	<a href="#">DynamoInstall0.7.2.exe</a>
2014-07-23T17:52:21.000Z	67125387	<a href="#">DynamoInstall0.7.1.exe</a>
2014-04-25T20:22:04.000Z	83459184	<a href="#">DynamoInstall0.6.3.exe</a>
2014-04-03T11:24:47.000Z	66177256	<a href="#">DynamoInstall0.7.0.exe</a>
2013-11-26T00:32:40.000Z	58876666	<a href="#">DynamoInstall0.6.2.exe</a>
2013-10-14T18:27:14.000Z	53799606	<a href="#">DynamoInstall0.6.1.exe</a>

Figura 39: Versione Dynamo scaricata

Si procede quindi alla risoluzione dei tre punti:

1. Realizzazione di un computo metrico direttamente sul software Autodesk Revit attraverso la realizzazione di una colonna “Materiale Quantità” nell’abaco dei materiali, contenente il volume o la superficie in funzione della categoria.

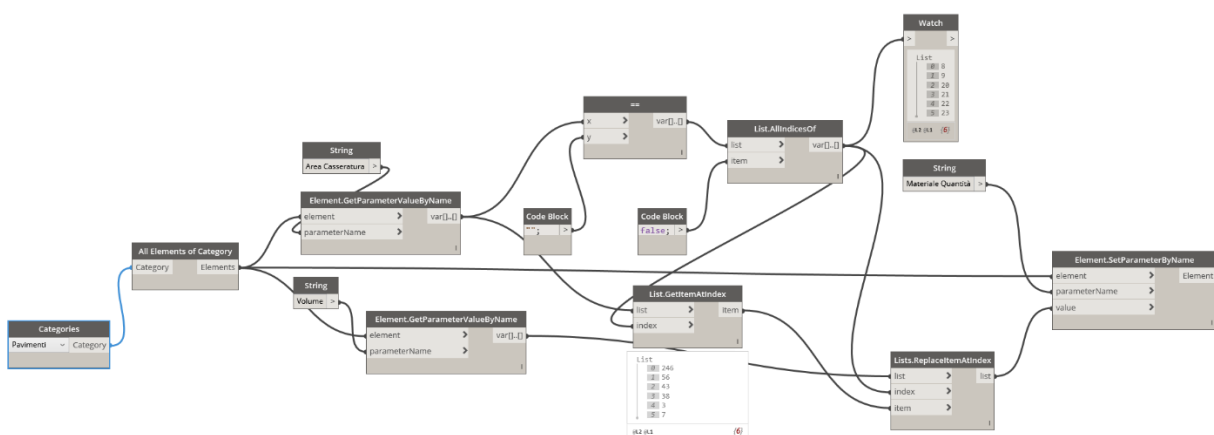


Figura 40: Algoritmo Dynamo

I nodi cruciali nella generazione di tale algoritmo sono:

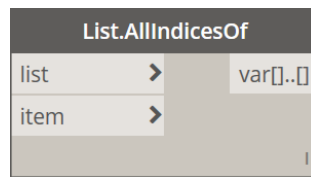


Figura 41: Nodo Dynamo

Questo nodo permette, dato un elemento, di restituire gli indici in base zero di tutte le ricorrenze di tale elemento nell'elenco. Se l'elemento non viene trovato nell'elenco, restituisce un elenco vuoto.

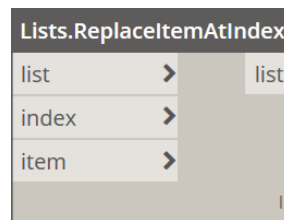


Figura 42: Nodo Dynamo

Questo nodo permette di scambiare dei valori di cui vengono forniti gli indici.

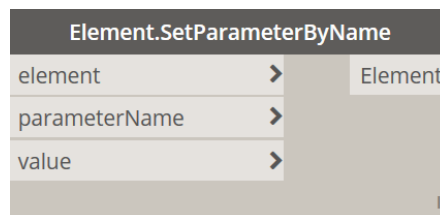


Figura 43: Nodo Dynamo

Questo nodo permette di impostare uno dei parametri dell'elemento (parametro: Materiale Quantità). Si riporta quindi l'output Revit dove:

- La codifica 01.A04.B20.005 da prezziario corrisponde al materiale: "Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206-1". Viene quindi riportato il volume in m<sup>3</sup>.
- La codifica 01.A04.H30.005 da prezziario corrisponde al materiale: "Casseratura per il contenimento dei getti in legname di qualunque forma". Viene quindi riportato la superficie in m<sup>2</sup>.

<Computo dei materiali pavimento>					
A	B	C	D	E	F
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Costo	Materiale Quantità	Materiale: Volume	Totale costo
01.A04.B20.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_700	108.49	497.55	497.55 m <sup>3</sup>	53,979.17€
01.A04.B20.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_1000	108.49	1003.64	1003.64 m <sup>3</sup>	108,884.60€
01.A04.B20.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_1000	108.49	1281.70	1281.70 m <sup>3</sup>	139,051.12€
01.A04.B20.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_1000	108.49	1525.32	1525.32 m <sup>3</sup>	165,481.88€
01.A04.B20.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_1000	108.49	1190.42	1190.42 m <sup>3</sup>	129,148.50€
01.A04.B20.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_250	108.49	379.01	379.01 m <sup>3</sup>	41,118.97€
01.A04.B20.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_700	108.49	104.42	104.42 m <sup>3</sup>	11,328.51€
01.A04.B20.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_880	108.49	116.76	116.76 m <sup>3</sup>	12,667.06€
01.A04.B20.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_1000	108.49	246.28	246.28 m <sup>3</sup>	26,688.54€
01.A04.H30.005	Pavimento: SEB_STR_pavimentostrutturale_soletta_1000	40.51	246.00	0.00 m <sup>2</sup>	9,965.46€

Figura 44: Computo materiali pavimento

## 2. Possibilità di importazione automatica dei costi parametrici da un CME (realizzato su un file Excel) nell'ambiente BIM.

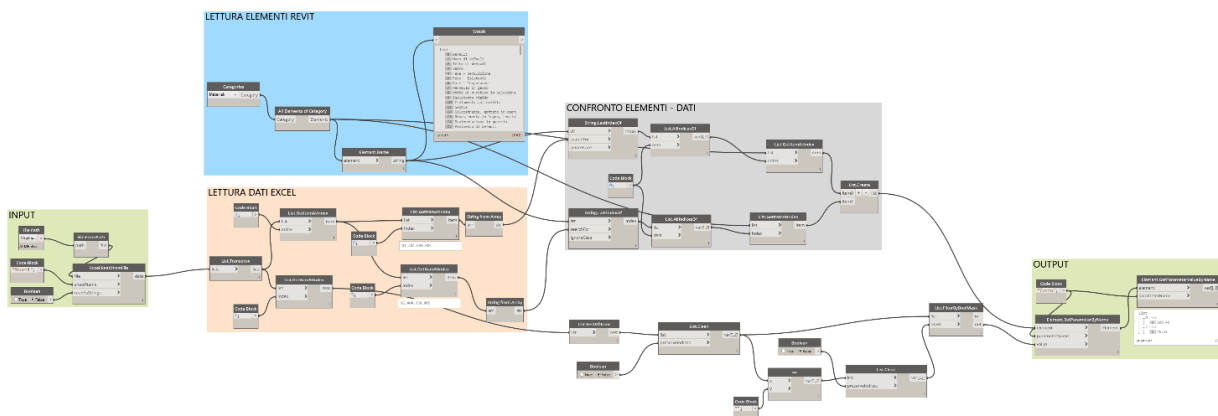


Figura 45: Algoritmo Dynamo

I nodi cruciali nella generazione di tale algoritmo sono:

Excel.ReadFromFile		
file	>	data
sheetName	>	
readAsStrings	>	

Figura 46: Nodo Dynamo

Legge dati da un foglio di calcolo Microsoft Excel. I dati vengono letti riga per riga e restituiti in una serie di elenchi per riga. Le righe e le colonne sono indicizzate in base zero: ad esempio il valore nella cella A1 apparirà nell'elenco di dati come [0,0].

String.LastIndexOf		
str	>	index
searchFor	>	
ignoreCase	>	

Figura 47: Nodo Dynamo

Trova l'indice in base zero dell'ultima ricorrenza di una sottostringa in una stringa. Se non viene ritrovato alcun indice, restituisce -1.

List.FilterByBoolMask		
list	>	in
mask	>	out

Figura 48: Nodo Dynamo

Consente di applicare un filtro ad una sequenza sulla base di indici corrispondenti in un elenco di valori booleani separato. Il foglio di calcolo dal quale Dynamo legge il costo unitario è il seguente:



	A	B	C	D	E
1	Sez.	Codice	Descrizione	U.M.	Costo Unitario
2	01	01.A04.B20	Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206-1, per strutture di fondazione (plinti, cordoli, pali, travi rovesce, paratie, platee) e muri interrati a contatto con terreni non aggressivi, classe di esposizione ambientale xc2 (UNI 11104), classe di consistenza al getto S4, Dmax aggregati 32 mm, CI 0.4; fornitura a piè d'opera, escluso ogni altro onere: per plinti con altezza < 1.5 m, platee di fondazione e muri di spessore < 80 cm.		
3	01	01.A04.B20.005	Classe di resistenza a compressione minima C25/30.	m³	108,49
4					
5	01	01.A04.H30	Casseratura per il contenimento dei getti per opere quali muri, pilastri, archi, volte, parapetti, cordoli, sottofondi, caldane, platee ecc compreso il puntellamento e il disarmo, misurando esclusivamente lo sviluppo delle parti a contatto dei getti		
6	01	01.A04.H30.005	In legname di qualunque forma	m²	40,51

Vengono quindi riportati all'interno dei parametri "costo" nel Browser materiali:

Browser dei materiali - 01.A04.H30.005

Cerca

Materiali progetto: T...

Nome

01.A04.B20.005

01.A04.H30.005

Acciaio

Acciaio inossidabile

Acciaio, 45-345

Acciaio, carbonio

Acciaio, RQC100

Alluminio1

Apertura massa di default

Identità Grafica Aspetto Fisico Termico

Nome 01.A04.H30.005

**Informazioni descrittive**

Descrizione

Classe Legno

Commenti

Parole chiave

**Informazioni sul prodotto**

Produttore

Modello

Costo 40.51

URL

**Informazioni sull'annotazione di Revit**

Nota chiave

Contrassegno

OK Annulla Applica

Figura 49: Importazione Costi con Dynamo

### 3. Possibilità di esportazione automatica e diretta degli abachi dei materiali Revit in un file Excel.

Il passaggio dagli abachi Revit ai fogli di calcolo di Microsoft Excel è disponibile mediante una prima esportazione su file .txt ed una successiva in formato .xls:



Come già scritto in precedenza si è ricercata una maggiore automazione e rapidità nella prassi progettuale, perciò si è eliminato lo step intermedio rendendo il passaggio dagli abachi Revit ai fogli Excel completamente automatico tramite Dynamo:



Si è quindi andati a definire un algoritmo che consente l'esportazione diretta sia degli abachi a singola categoria che i multicategoria per ogni fase costruttiva.

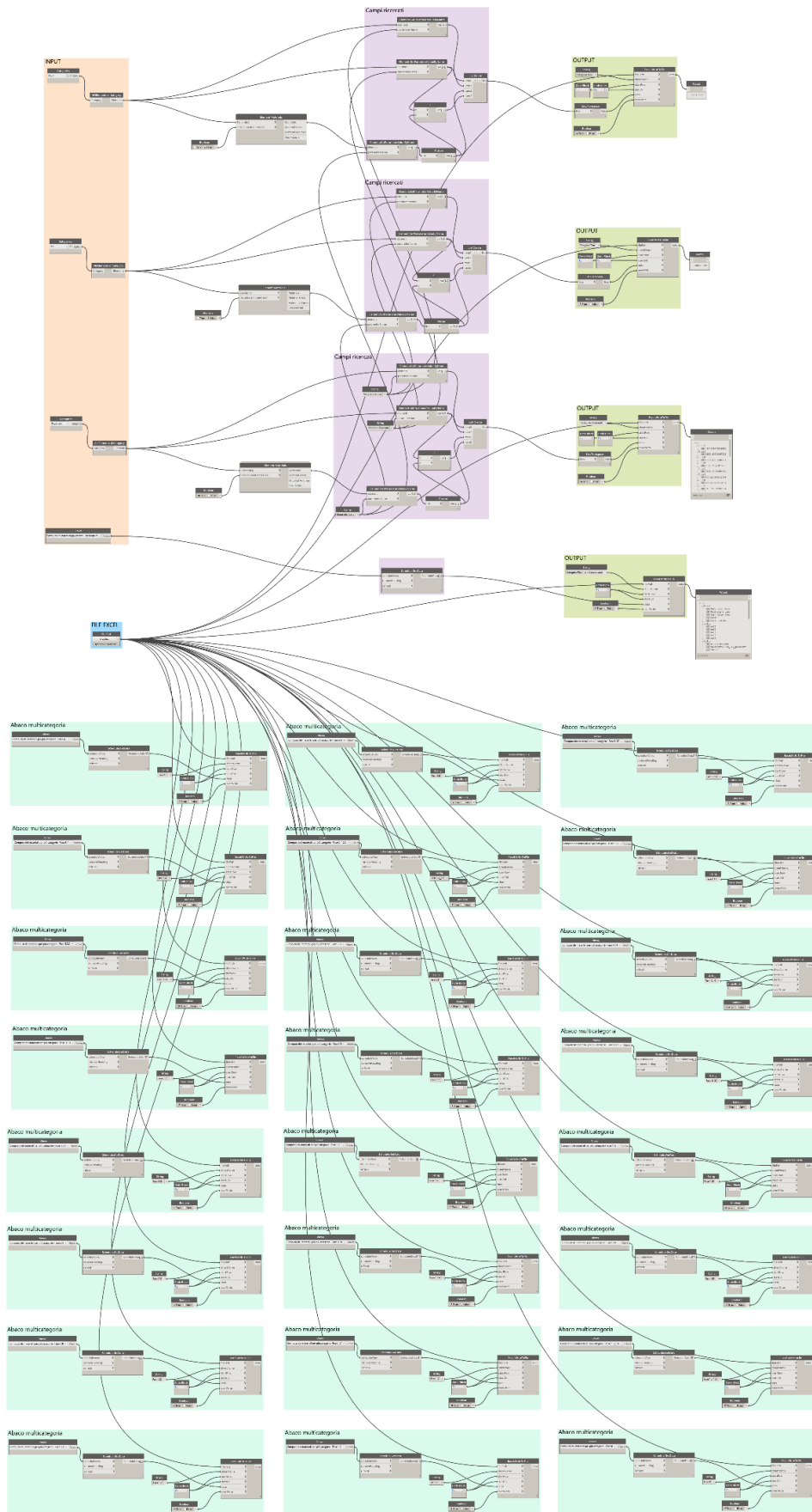


Figura 50: Algoritmo Dynamo

I nodi cruciali nella generazione di tale algoritmo sono:

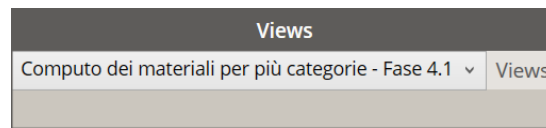


Figura 51: Nodo Dynamo

Legge tutte le viste disponibili nel documento corrente.

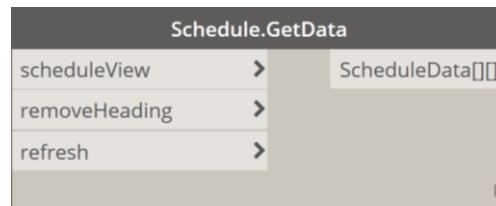


Figura 52: Nodo Dynamo

Ottiene tutti i dati da una tabella di un abaco come stringa.

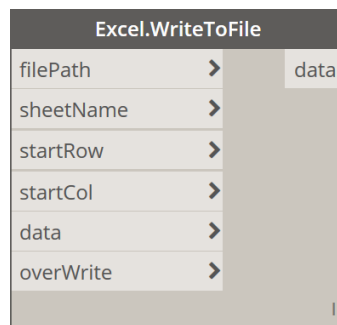
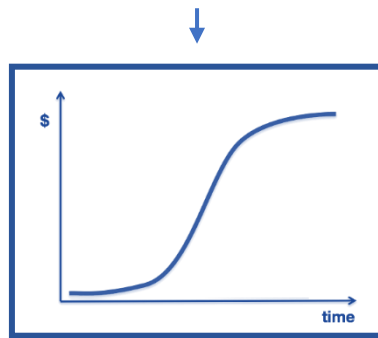


Figura 53: Nodo Dynamo

Scrive dati in un foglio calcolo di Microsoft Excel. I dati vengono scritti riga per riga; i sottoelenchi vengono scritti in righe successive. Le righe e le colonne sono indicizzate in base zero: ad esempio il valore dell'elenco dati [0,0] verrà scritto nella cella A1. I valori null e gli elenchi vuoti vengono scritti in Excel come celle vuote.

I fogli Excel vengono generati tutti nel medesimo File .xls in modo tale che sia possibile realizzare direttamente una “curva a S”, questa rappresenta graficamente il progressivo dei costi, ottenuto sommando al totale dei costi del periodo<sup>25</sup> precedente, il costo del periodo corrente.

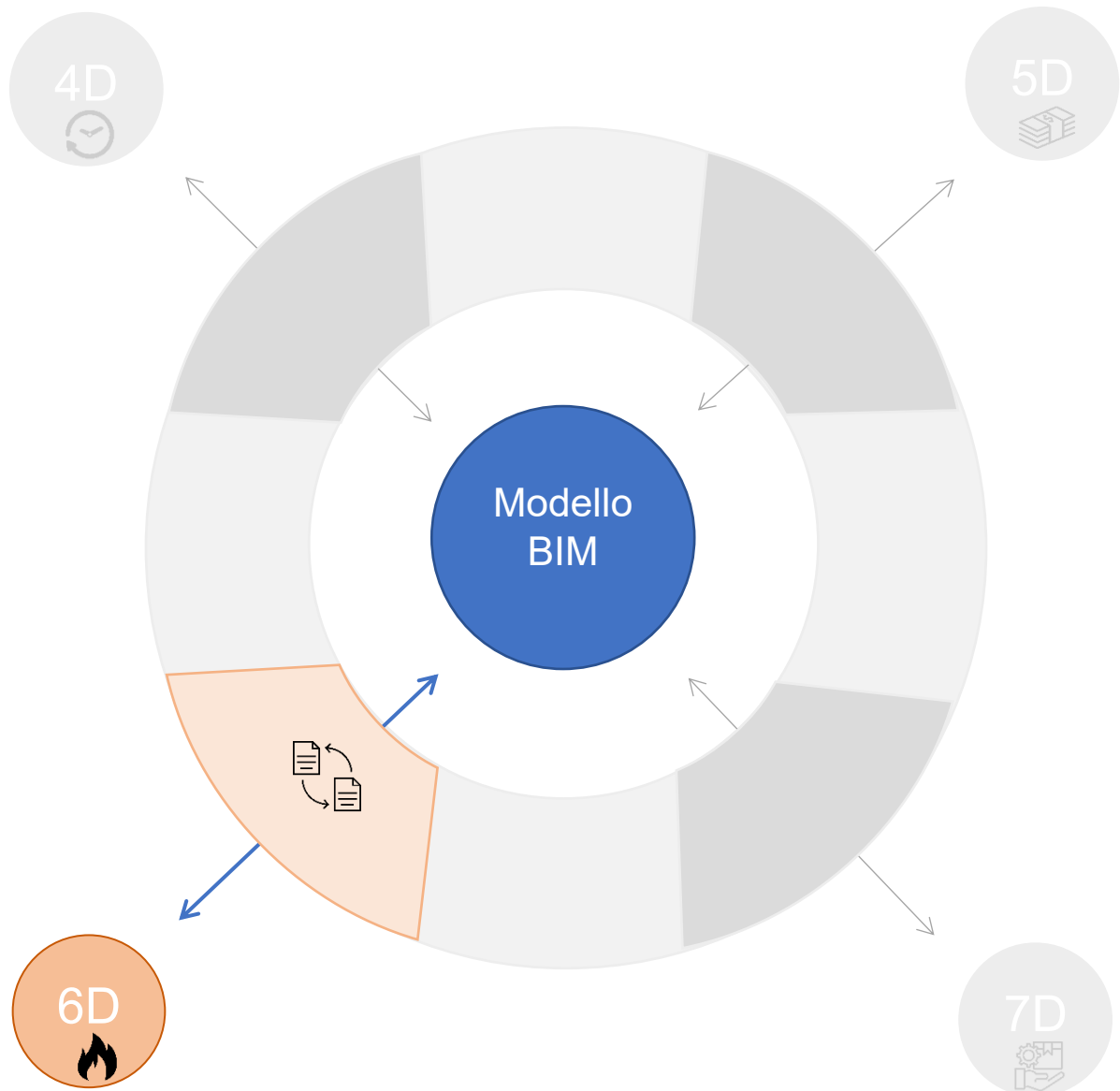
<sup>25</sup> Periodo: Intervallo temporale di monitoraggio e controllo del progetto.



Nel contesto che abbiamo appena descritto ed ampiamente dettagliato, si nota la fondamentale importanza dei dati e delle informazioni. Un modello BIM è un contenitore, una libreria di informazioni che si relazionano tra loro ed è opportuno focalizzarsi sulla loro creazione, condivisione e modifica; quindi in senso ampio gestire i contenuti informativi. Le informazioni degli elementi vengono inserite contemporaneamente alla loro creazione e poi aggiornate nel tempo. Le informazioni all'interno del software vengono inserite nei parametri; vi sono tre tipologie di parametri. Di fondamentale importanza è quindi andare a determinare dov'è memorizzata all'interno dell'applicativo l'informazione che vogliamo modificare o estrarre.



# InfraBIM per il 6D







## 11.0 Ingegneria della sicurezza antincendio

Attraverso l'emanazione della direttiva 89/106/CEE si è avviato in Europa il processo di sviluppo relativo alle tematiche inerenti alla Fire Safety Engineering (Ingegneria della sicurezza antincendio) [9].

Questo aggiornamento normativo ha interessato anche l'Italia modificando in modo profondo l'approccio alla progettazione nel mondo dell'antincendio. Il Decreto del 9 Maggio 2007 del Ministero dell'Interno ha sancito l'introduzione del cosiddetto **approccio prestazionale** riguardante la prevenzione incendi. Tale metodo va a confrontarsi con il metodo tradizionale **prescrittivo** che si basa sull'applicazione di regole tecniche e misure protettive che stabiliscono a priori, in maniera deterministica e vincolante, tutte le misure di protezione da adottare per garantire la sicurezza antincendio. Il nuovo approccio ingegneristico è caratterizzato da diverse esigenze:

- Quella del legislatore di tutelare la sicurezza di persone e cose;
- Quella dei progettisti, di una maggiore flessibilità in determinate situazioni<sup>26</sup>.

Il professionista, in accordo con il committente, sceglie liberamente di adottare la metodologia prestazionale per delle attività non espressamente regolate da specifiche disposizioni antincendio, come pure nel corso dei procedimenti di deroga, allo scopo di individuare misure di sicurezza equivalenti. L'approccio ingegneristico si occupa di studiare la successione temporale delle fasi di evoluzione di un incendio sfruttando le leggi della fluidodinamica; come output si ricerca di calcolare il livello di esposizione di persone e cose a calore, fumi, sostanze tossiche e di valutare l'azione meccanica delle fiamme sulle strutture dell'oggetto di studio. I valori ottenuti da tale fase di calcolo andranno poi confrontati con il livello di prestazioni minimo richiesto alla costruzione presa in esame e con i livelli di sopportazione delle persone fisiche.

Questa tecnica di simulazione consente la valutazione delle risposte dell'edificio indagato sottoposto a diverse condizioni operative, permettendo di eseguire analisi dello scenario. Servendosi di tali strumenti, il progettista antincendio deve sviluppare una sua valutazione del rischio in modo tale da:

- Definire quali sono effettivamente i rischi presenti;
- Individuare misure progettuali adeguate ai rischi;
- Ottimizzare i costi attraverso l'applicazione delle sole misure efficaci;
- Garantire il raggiungimento di un livello di sicurezza quantificabile;
- Fornire strumenti per la manutenzione nel tempo del medesimo livello di sicurezza.

---

<sup>26</sup> Si pensi, ad esempio, al problema che rappresentano gli edifici sottoposti a tutela architettonica o come nel caso studio a infrastrutture complesse, le norme tecniche che disciplinano la prevenzione incendi risultano di fatto non applicabili a causa dei vincoli imposti.

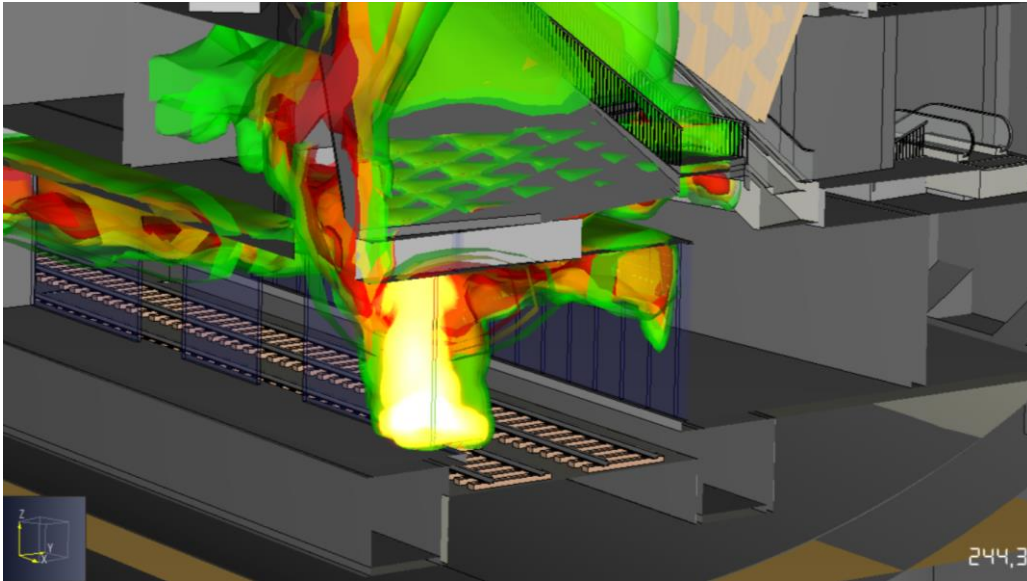


Figura 54: Simulazione PyroSim

I due grandi vantaggi che apporta l'approccio prestazionale e quindi la FSE sono:

- Risparmio delle risorse economiche del committente dovuta ad una progettazione più aderente al caso studio
- Maggior libertà progettuale

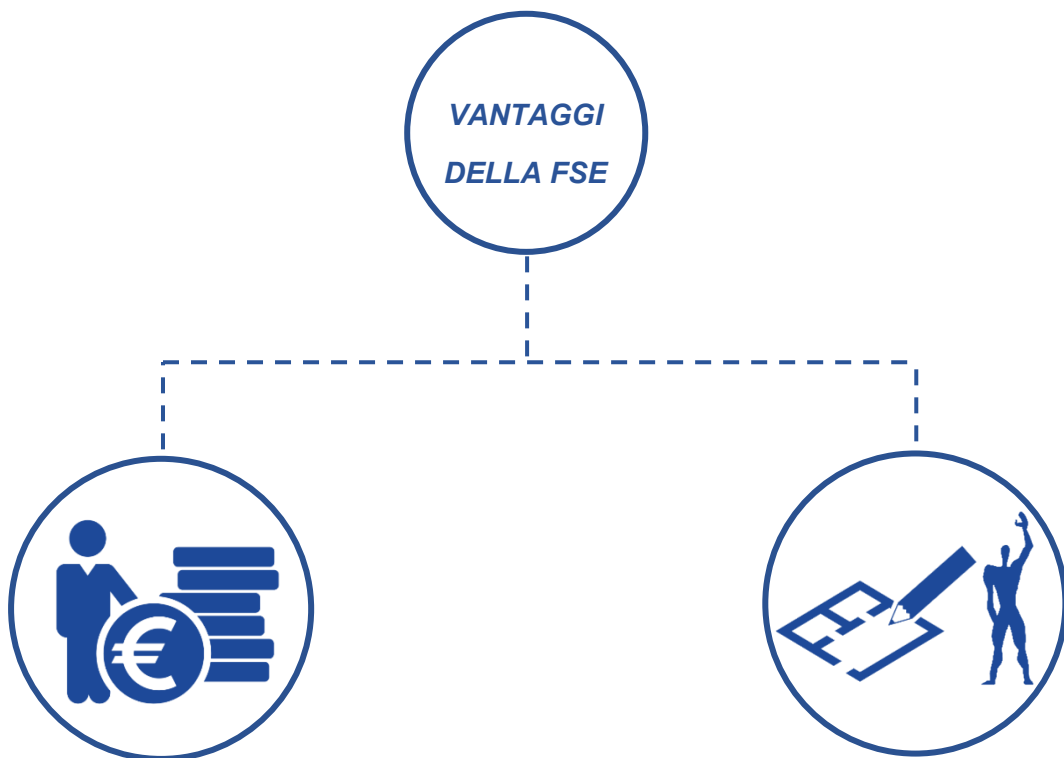


Figura 55: Vantaggi della FSE

In via generale, l'approccio ingegneristico tiene in considerazione:

- Il tempo a disposizione per la fuga – **ASET (Available Safe Escape Time)** e cioè del tempo che intercorre prima che la frequentazione degli ambienti non sia più sostenibile per l'uomo;
- Il tempo richiesto per la fuga – **RSET (Required Safe Escape Time)** in relazione alle condizioni in cui essa avviene;
- Il margine di sicurezza richiesto (**T<sub>safety</sub>**), in relazione alle incertezze nella definizione dei parametri usati nelle valutazioni.

La valutazione del tempo disponibile per la fuga (ASET) tiene conto delle condizioni di ignizione e propagazione dell'incendio negli ambienti, al fine di valutare il tempo in cui a causa di calore, fumo o effluenti tossici la loro praticabilità non sia più sostenibile.

Il tempo di evacuazione RSET risulta dalla somma di quattro contributi:

- $t_{det}$  = tempo di rivelazione (*detection*), ovvero intervallo di tempo dall'inizio dell'incendio alla rivelazione da parte del sistema automatico di rivelazione incendi;
- $t_a$  = tempo di allarme generale, tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'allarme generale;
- $t_{pre}$  = tempo di pre-movimento, è il tempo necessario agli occupanti per svolgere e concludere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio;
- $t_{tra}$  = tempo di uscita (*travel*), ovvero intervallo di tempo dall'inizio dell'evacuazione fino al raggiungimento del luogo sicuro da parte di tutti gli occupanti.

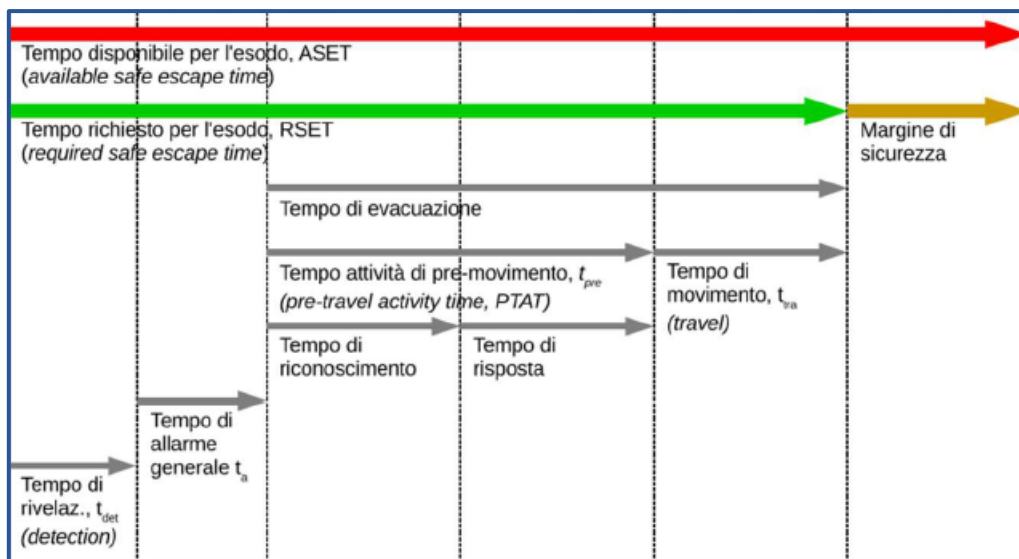


Figura 56: Determinazione ASET e RSET

Ed è quindi fondamentale che valga il seguente confronto:

$$\mathbf{ASET < RSET}$$

Possiamo ora suddividere l'approccio prestazionale nella seguente successione di fasi:

- **Analisi preliminare;**
- **Analisi quantitativa;**
- **Redazione del programma di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)**

### **Analisi Preliminare**

L'analisi preliminare si può riassumere nei seguenti punti, tenendo conto innanzitutto delle caratteristiche del progetto.

- “Vincoli imposti da prescrizioni normative e da esigenze peculiari dell'attività”,
- “Pericoli d'incendio connessi alla destinazione d'uso prevista per gli edifici e i locali”;
- “Fattori ambientali specifici collegabili alle conseguenze dello sviluppo dell'incendio”;
- “Caratteri e comportamenti delle persone presenti in relazione alla tipologia di edificio prescelta e alla destinazione d'uso prevista” [9].

Il punto successivo riguarda la definizione degli obiettivi. Viene eseguito conformemente alle disposizioni in materia di prevenzione incendi e in relazione alle specifiche esigenze dell'attività oggetto di studio. Tale esigenze possono comprendere i punti che seguono:

- “Le persone presenti devono essere in grado di lasciare l'opera o di essere soccorse altrimenti”;
- “Deve essere presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso”;
- “La capacità portante dell'edificio deve essere garantita per un periodo di tempo prefissato in relazione all'evoluzione dell'incendio”;
- “La produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere deve essere limitata”;
- “La propagazione del fuoco alle opere vicine deve essere limitata” [9].

In funzione degli obiettivi di sicurezza individuati, si devono indicare i parametri significativi presi come riferimento per soddisfare gli stessi. Tali parametri, da normativa, sono generalmente caratterizzati dalle temperature massime dei gas in ambiente, dai livelli di visibilità, dai livelli di radiazione termica, dai livelli di concentrazione delle specie tossiche, dai livelli minimi di ossigeno. Possiamo quindi definire i cosiddetti livelli di prestazione. Tutti i parametri che vengono utilizzati per rappresentare i livelli di prestazione devono essere quantificati attraverso valori numerici, e sono desunti dalla normativa tecnica internazionale o da specifiche disposizioni legislative. Possiamo citare i seguenti riferimenti:

- “BS 7974 (*Application of Fire Safety Engineering to the Building Design*)”;
- “ISO/TR 13387 (*Fire Safety Engineering*)”;
- “Decreto Ministero dei Lavori Pubblici del 9 maggio 2001 (*Requisiti minimi di sicurezza per aree interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante*)” [9].

Facendo riferimento alle normative appena citate possiamo quindi elencare le seguenti soglie prestazionali:

Livello di prestazione	Soglia
Visibilità	10 / 5 metri (occupanti/soccorritori)
Temperatura di esposizione	60 / 80 °C (occupanti/soccorritori)
Irraggiamento	2,5 / 3 kW/m <sup>2</sup> (occupanti/soccorritori)
Altezza dei fumi dal pavimento	2/1,5 metri (occupanti/soccorritori)
Temperatura dei fumi	200/250°C (occupanti/soccorritori)
Concentrazione di ossigeno	15%
Concentrazione di CO	500 ppm (allucinazioni dopo 60-90 min.)
Concentrazione di CO <sub>2</sub>	0,5 %

Table 1 Tenability limits for a radioactive and convective heat

Mode of heat transfer	Intensity	Tolerance time
<b>Radiation</b>	< 2,5 KW/m <sup>2</sup>	> 5 min
	2,5 KW/m <sup>2</sup>	30 s
	10 KW/m <sup>2</sup>	4 s
<b>Convention</b>	<60 °C 100% saturated	> 30 min
	100 °C < 10% H <sub>2</sub> O	8 min
	110 °C < 10% H <sub>2</sub> O	6 min
	120 °C < 10% H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> O	4 min
	130 °C < 10% H <sub>2</sub> O	3 min
	150 °C < 10% H <sub>2</sub> O	2 min
180 °C < 10% H <sub>2</sub> O	1 min	

Source: PD 7974-6:2004 "Human factors: Life safety strategies –Occupant evacuation, behaviour and condition"

Figura 57: Soglie di accettabilità <sup>27</sup>

L'individuazione di uno scenario di incendio viene essenzialmente tradotto in una schematizzazione di più eventi che possono verificarsi in funzione delle caratteristiche dell'incendio, della struttura e delle persone presenti. La selezione degli scenari d'incendio di progetto dev'essere caratterizzata dalle condizioni più gravose per la propagazione e lo sviluppo delle fiamme, la conseguente sollecitazione strutturale, la tutela della vita delle persone presenti e la sicurezza delle squadre di soccorso. Il termine "scenario" ci indica l'insieme di tutte le condizioni con riferimento alle quali si effettua la simulazione. Ogni scenario comprende le tre componenti che seguono:

- **Caratteristiche del fuoco:** "stato, tipo e quantitativo delle sostanze combustibili, loro disposizione e configurazione, profilo temporale del rilascio termico e picco di potenza termica sviluppata (HRR<sub>max</sub> dove HRR sta per *Heat Release Rate*). In rapporto alla velocità di sviluppo, è possibile, ad esempio, caratterizzare diversi modelli di incendio (detti rispettivamente a crescita lenta, media o veloce), prendendo a base della caratterizzazione il tempo necessario a raggiungere un rilascio termico pari a 1000 kW";

<sup>27</sup> Fonte: PD 7974-6:2004

- **Caratteristiche dell'edificio:** "geometria dei locali, composizione e proprietà termiche delle pareti, degli arredi e delle tappezzerie, strutture edilizie, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato di apertura o chiusura di porte e finestre";
- **Caratteristiche delle persone presenti:** "affollamento massimo, stato psico-fisico, presenza di disabili, familiarità con i luoghi, stato di veglia o sonno, ecc".

Lo scenario di incendio è l'output del giudizio di un esperto; si opera in modo congiunto tra progettista e autorità in merito alla ragionevolezza e alla realistica delle ipotesi assunte inizialmente. Viene quindi ristretto il numero di casi studio dall'infinità di scenari che possono essere ipotizzati in riferimento a una struttura a quelli che poi effettivamente rappresentano le situazioni più probabili di innesco e di propagazione delle fiamme. Gli scenari individuati oltre ad essere determinati dal professionista, in alcuni casi possono essere inseriti già nella normativa di riferimento.

### Analisi Quantitativa

La scelta tra le soluzioni progettuali disponibili viene realizzata attraverso un'analisi definita quantitativa che termina con un giudizio in merito all'ipotesi considerata, accettabile o no. L'applicazione di un modello di calcolo ovviamente fornisce una serie di parametri numerici, questi sono utili per descrivere l'evoluzione dell'incendio e fornire le indicazioni necessarie per la verifica del soddisfacimento dei livelli prestazionali fissati precedentemente. In questa fase, si procede ad un'ottimizzazione di quelle che sono state le scelte progettuali iniziali del professionista, scartando le poco soddisfacenti e affinando quelle più valide. Un aspetto importante legato all'analisi quantitativa riguarda sicuramente la scelta del modello di calcolo per la definizione evolutiva dell'incendio ipotizzato. La scelta del modello di calcolo dipende principalmente da quanto il progetto oggetto di studio è complesso da analizzare e anche dal livello di conoscenze tecniche. La traduzione matematica dell'evoluzione di un incendio attraverso la scrittura di un sistema di equazioni costituisce il modello alla base di un codice di calcolo. Questo codice ha il compito di calcolare automaticamente l'evoluzione e la successione degli eventi, seguendo una serie di informazioni fornite dall'utente. Inizialmente viene definita la geometria della regione di interesse, cioè dello spazio che sarà il dominio oggetto di calcolo. Vengono poi stabilite le caratteristiche termo-fisiche e chimiche dei materiali presenti. Vi è poi la fase di discretizzazione: l'intero volume prescelto viene suddiviso in elementi più piccoli, **celle**, in corrispondenza dei quali viene impostata la soluzione matematica delle equazioni che descrivono il problema oggetto di indagine. In base a come viene realizzata quest'ultima fase, è possibile operare una classificazione in due categorie:

- Modelli di zona;
- Modelli di campo.

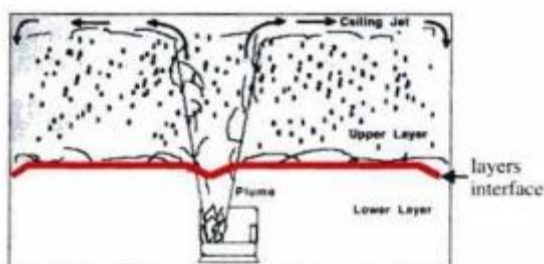


Figura 58: Modelli di zona

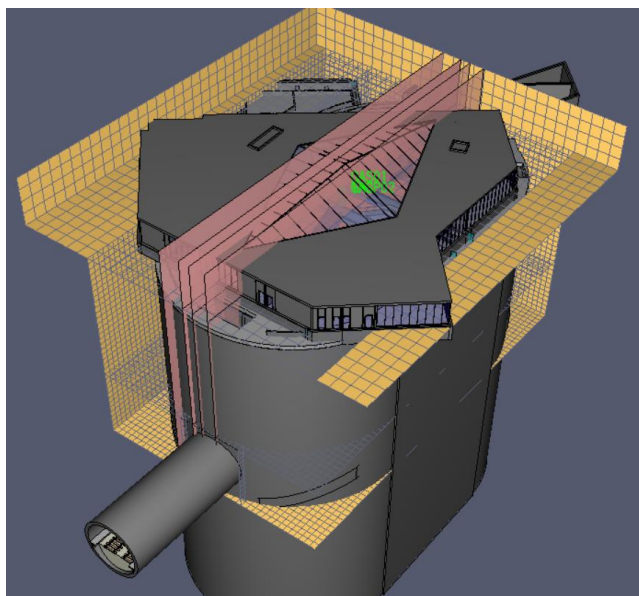


Figura 59: Modelli di campo

I modelli fluidodinamici (CFD – Computational Fluid Dynamics) prevedono una rappresentazione degli ambienti attraverso la costituzione di uno spazio suddiviso in celle e la soluzione per via numerica delle leggi di conservazione della massa, della quantità di moto e dell'energia, in corrispondenza di ciascun piccolo volume di controllo. La peculiarità di questo tipo di modelli sta nella possibilità di fornire combinatamente la variazione nel tempo e nello spazio delle grandezze di interesse.

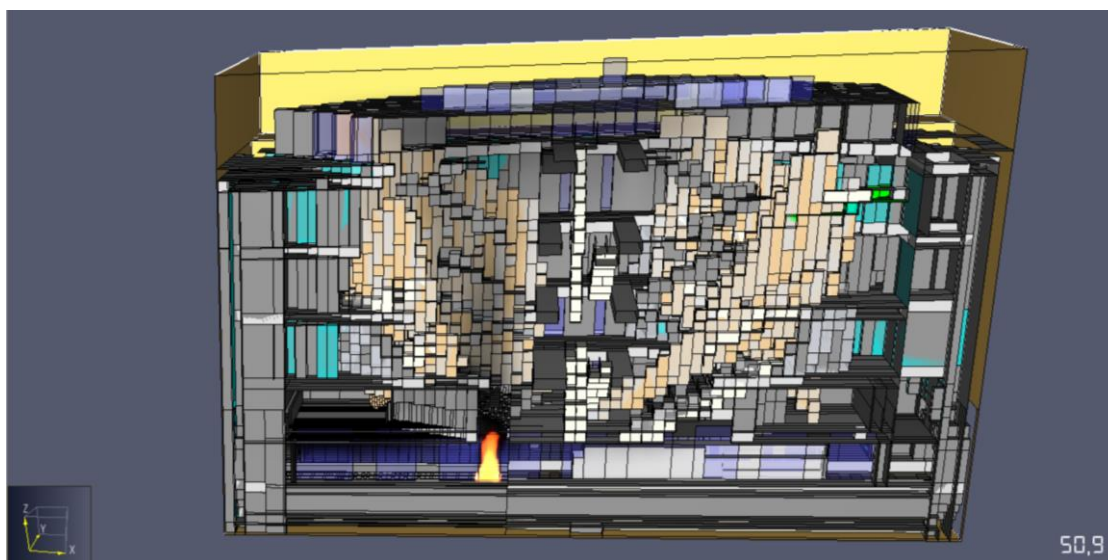


Figura 60: Visualizzazione della comprensione geometrica del software PyroSim

### **Programma di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)**

L'utilizzo della metodologia prestazionale è strettamente correlata all'obbligo di elaborare un documento contenente un sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA). Questo documento è necessario per controllare tutti quei parametri che hanno portato all'individuazione degli scenari scelti, visto che questi rappresentano i vincoli e le limitazioni per l'esercizio dell'attività. Il documento deve comprendere tutte le ipotesi assunte relativamente a:

- “Organizzazione del personale”;
- “Identificazione e stima dei pericoli derivanti dalle attività svolte”;
- “Controllo operativo”;
- “Gestione delle modifiche”;
- “Pianificazione delle emergenze”;
- “Controllo delle prestazioni”.

Quando l’esito degli accertamenti periodici da parte dall’autorità preposta (CNVVF) rilevi che vi è l’inadempienza degli impegni assunti, si deve procedere alla sospensione del certificato di prevenzione incendi (CPI). La motivazione di questa disposizione è desumibile dal fatto che la metodologia prestazionale, basandosi sull’individuazione di misure di protezione effettuata con riferimento a specifiche condizioni, necessita di un mantenimento costante dei parametri sia degli scenari che dei progetti affinché non si verifichi una riduzione del livello di sicurezza nel tempo.

Si ritiene opportuno concludere questa introduzione all’approccio ingegneristico nella progettazione della sicurezza antincendio riportando quanto espresso dall’Ing. G. Giomi, vicedirettore centrale per la prevenzione e sicurezza tecnica del Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco (CNVVF):

*“Lo strumento prestazionale è certamente una novità e come tutte le novità induce e genera pareri contrastanti: gli estimatori ritengono che sia l’unico modo per risolvere situazioni altrimenti irrisolvibili; gli scettici, al contrario, pensano che questa metodologia possa comportare incertezza, determinare contenzioso e far perdere di credibilità alle regole tecniche in vigore. I detrattori addirittura si spingono ad ipotizzare che l’approccio prestazionale potrà diventare facilmente lo strumento per eludere elegantemente le normative in vigore individuando percorsi per così dire a minor resistenza, con il pericolo di ridurre drasticamente il livello di sicurezza. Ritengo che più che condividere o rigettare tali considerazioni si debba ragionare in modo pragmatico, scevri da preconcetti e condizionamenti. Il processo di valutazione prestazionale è una disciplina riconosciuta a livello internazionale che sempre più andrà affermandosi nell’attività di progettazione” [9].*



## 11.1 Interoperabilità

I software PyroSim e Pathfinder non consentono un'importazione diretta del formato nativo di Revit Autodesk, pertanto è stato necessario esportare il modello in un formato leggibile che presentasse una buona interoperabilità tra le piattaforme software. Vi sono più metodologie però che consentono l'esportazione da Revit in un formato di file che PyroSim può rappresentare. Nel nostro caso si è optato per una esportazione che ci consentisse di avere il maggior numero di informazioni e quindi una forte interoperabilità.

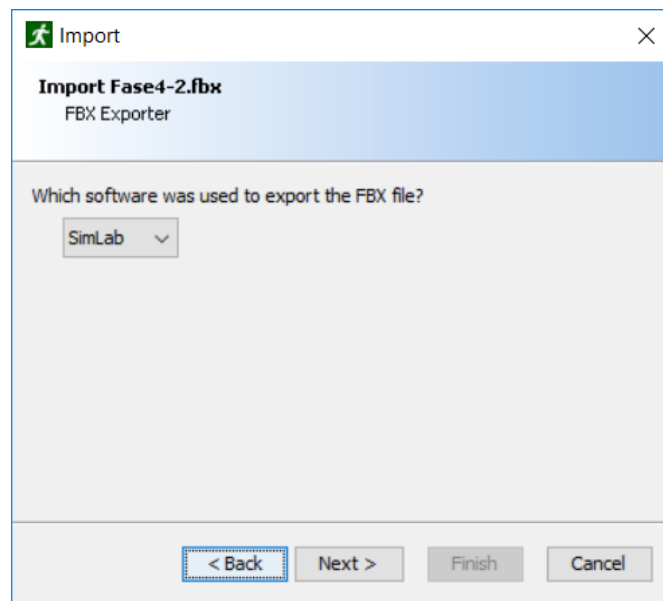


Figura 61: Esportazione tramite SimLab

Il formato di scambio scelto è stato l'FBX (Filmbox) che, grazie al plugin SimLab Soft ha prodotto buoni risultati in termini non solo di geometria, ma anche di materiali e texture.

## 11.2 Pathfinder

Pathfinder è un simulatore di esodo. Fornisce un'interfaccia grafica per la progettazione e l'esecuzione di simulazioni, nonché strumenti di visualizzazione 2D e 3D per l'analisi dei risultati. Oltre alla visualizzazione 3D, Pathfinder fornisce anche l'output sotto forma di diagrammi cronologici 2D di file CSV dei tempi di esodo dalle stanze e delle portate. Questo grafico mostra il numero di occupanti in funzione del tempo totale di esodo e il numero totale di passaggi attraverso una determinata porta d'uscita.

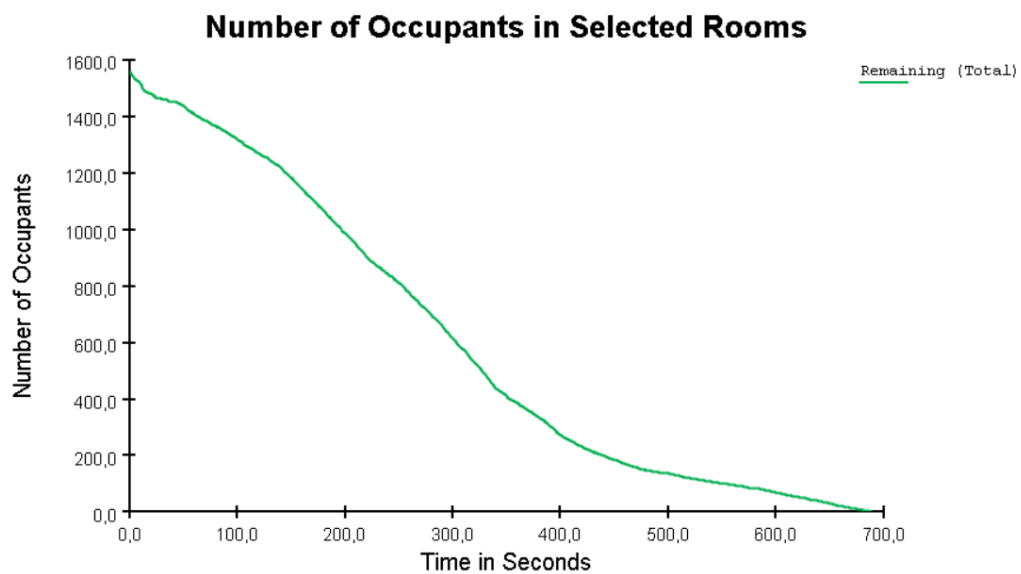


Figura 62: Numero di occupanti nel tempo dell'intera infrastruttura

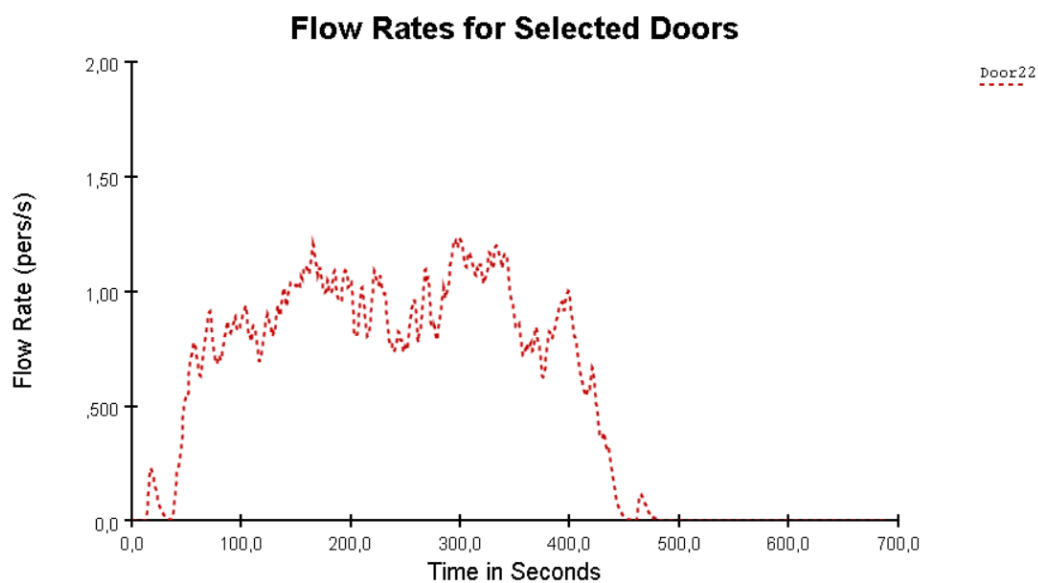


Figura 63: Utilizzo della porta selezionata

L'ambiente di movimento è una mesh triangolare progettata per corrispondere alle dimensioni reali della struttura oggetto di studio. Questa mesh può essere inserita manualmente oppure automaticamente attraverso la resa bidimensionale dei pavimenti Revit rendendo il lavoro più automatico e utilizzando il modello BIM. Pareti e altre aree invalicabili sono rappresentate come spazi vuoti nella mesh di navigazione<sup>28</sup>.



Figura 64: Visualizzazione grafica Pathfinder

Le porte sono rappresentate come speciali bordi della mesh di navigazione. In tutte le simulazioni, le porte forniscono un meccanismo per unire le stanze e tenere traccia del flusso degli occupanti. Le scale sono anche rappresentate come speciali bordi e la velocità di movimento dell'occupante è ridotta di un fattore proporzionale all'inclinazione della stessa. Ogni scala definisce implicitamente due porte, che funzionano, come qualsiasi altra porta nel simulatore.

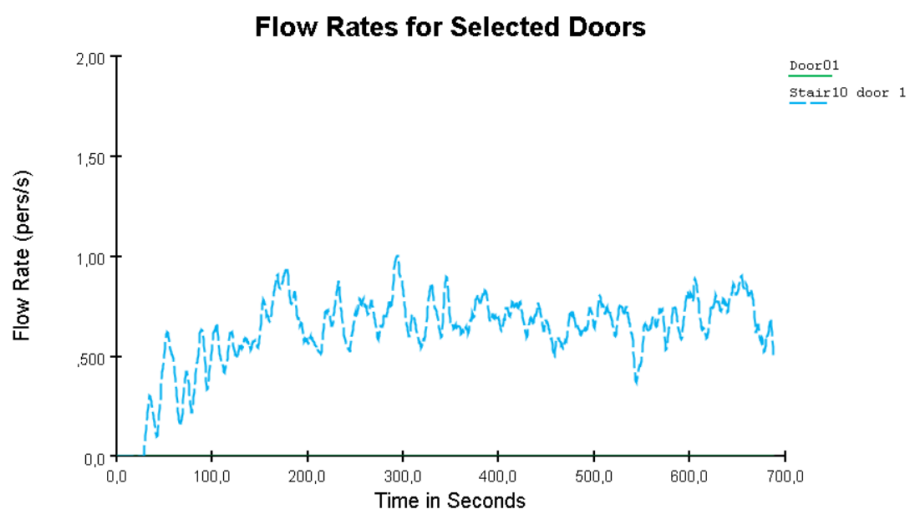


Figura 65: Utilizzo della scala selezionata

<sup>28</sup> Questi oggetti non vengono effettivamente passati al simulatore, ma sono rappresentati implicitamente perché gli occupanti non possono muoversi in luoghi in cui non è stata creata alcuna mesh di navigazione.

In Pathfinder gli occupanti sono definiti in due parti: profili e comportamenti. Il profilo definisce le caratteristiche fisse degli occupanti, come velocità massima, raggio avatar e colore. Il comportamento definisce una sequenza di azioni che l'occupante prenderà durante la simulazione, come spostarsi in una stanza, attendere e poi uscire. Le velocità degli occupanti sono state inserite riferendosi alla tabella dell'SFPE Handbook qui sotto riportata:

Speed on horizontal surface				
Subject Group	Mean	Standard deviation	Range	Interquartile range
All disabled	1,00	0,42	0,10-1,77	0,71-1,28
With locomotion disabilities	0,80	0,32	0,24-1,68	0,57-1,02
No aid	0,95	0,32	0,24-0,1,68	0,70-1,02
Crutches	0,94	0,30	0,63-1,35	0,67-1,24
Walking sticks	0,81	0,38	0,26-1,60	0,49-1,08
Rollator	0,57	0,29	0,10-1,02	0,34-0,83
No locomotion disability	1,25	0,32	0,82-1,77	1,05-1,34
Electric wheelchair	0,89	-	0,85-1,77	-
Manual wheelchair	0,69	0,35	0,13-1,35	0,38-0,94
Manual wheelchair	0,36	0,14	0,11-0,70	0,20-0,47
Assisted manual wheelchair	1,30	0,94	0,84-1,98	1,02-1,59
Assisted ambulant	0,78	0,34	0,21-1,40	0,58-0,92

Source: Table 3-13.2 from Section 3, Chapter 13: "Movement Of People: The Evacuation Timing", The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, NFPA Inc., Quincy, Massachusetts, 2002

Figura 66: Tabella delle velocità degli utenti <sup>29</sup>

Sono quindi state riportate cinque tipologie di occupanti per descrivere al meglio gli eventuali utenti di una metropolitana, considerando bambini, anziani, persone in carrozzina e con valigia.

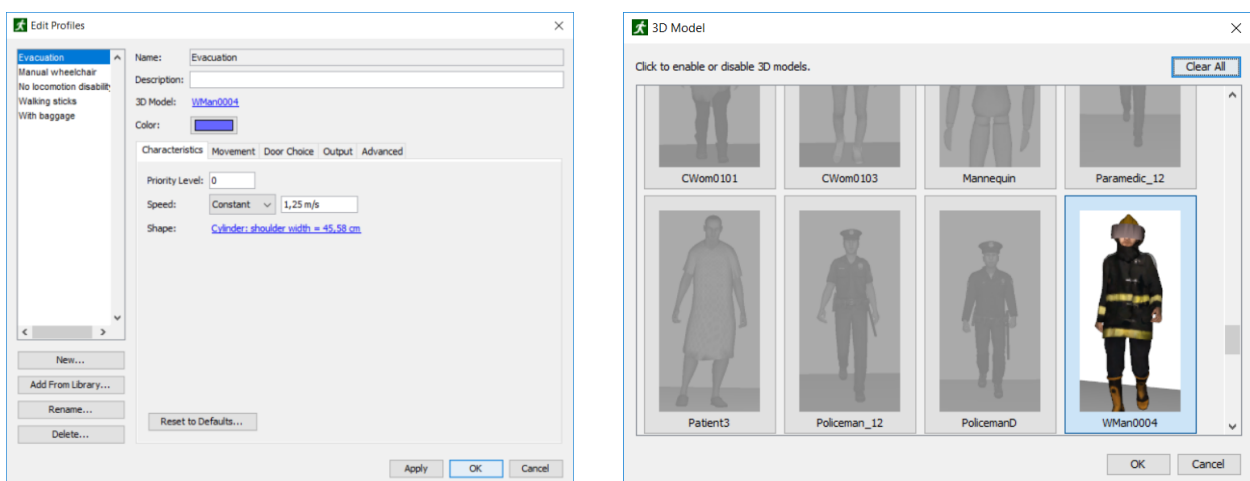


Figura 67: Utilizzo della scala selezionata

<sup>29</sup> Fonte: The SFPE Handbook of Fire Engineering – Table 3-13.2

Al fine di permettere l'evacuazione assistita dei disabili su carrozzina, è stato ipotizzato un certo numero di "assistenti" per ciascuna banchina. Questo numero deriva dalla considerazione che, oltre ai soccorritori esterni ed agli addetti già presenti in stazione, alcuni dei passeggeri assista i disabili nell'emergenza<sup>30</sup>.

Per il profilo "Evacuation" e "Manual wheelchair" ci si è riferiti a Vigili del Fuoco/Addetti alla sicurezza per il primo e a persone in carrozzina per il secondo, a questi è stato associato un determinato comportamento, ovvero:








 Behavior wheelchair  Goto Rooms  Wait for assistance <any team>  EXIT Exit <any>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recarsi in un "Refuge Area"</li> <li>- Attendere i soccorsi</li> <li>- Uscire</li> </ul>
 Behavior evacuation  Assist <AETeam00>  EXIT Exit <any>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assistere</li> <li>- Uscire</li> </ul>



Figura 68: Assistenza da parte dei soccorsi

Quando tutti gli occupanti sono esodati possiamo definire quello che è il "*t travel*" parte del RSET descritto in precedenza. Per definire gli altri addendi possiamo considerare nulla la somma  $t_{det} + t_a$  mentre per  $t_{pre}$  possiamo considerare la tabella da normativa ISO TR 16738.

**E: Transportation: Awake and unfamiliar** (e.g. railway or bus station or airport)

M1 B3 A1 – A2	—	—
M2 B3 A1 – A2	1,5	4
M3 B3 A1 – A3	2,0	5
M1 and M2 normally require a voice alarm/PA.	> 15	> 15

<sup>a</sup> M indicates level of fire safety management; B indicates level of building complexity; A indicates level of alarm system; see Annex D.

Figura 69:  $t_{pre}$  – Trasporti <sup>31</sup>

<sup>30</sup> Fonte: Caira L., Mangione M., Bontempi F., "Comportamento umano in caso di incendio: modelli di evacuazione"

<sup>31</sup> Fonte: ISO TR 16738

Viene quindi determinato l'RSET attraverso gli addendi appena descritti, questo può essere approssimato ad un valore di circa 15 minuti.

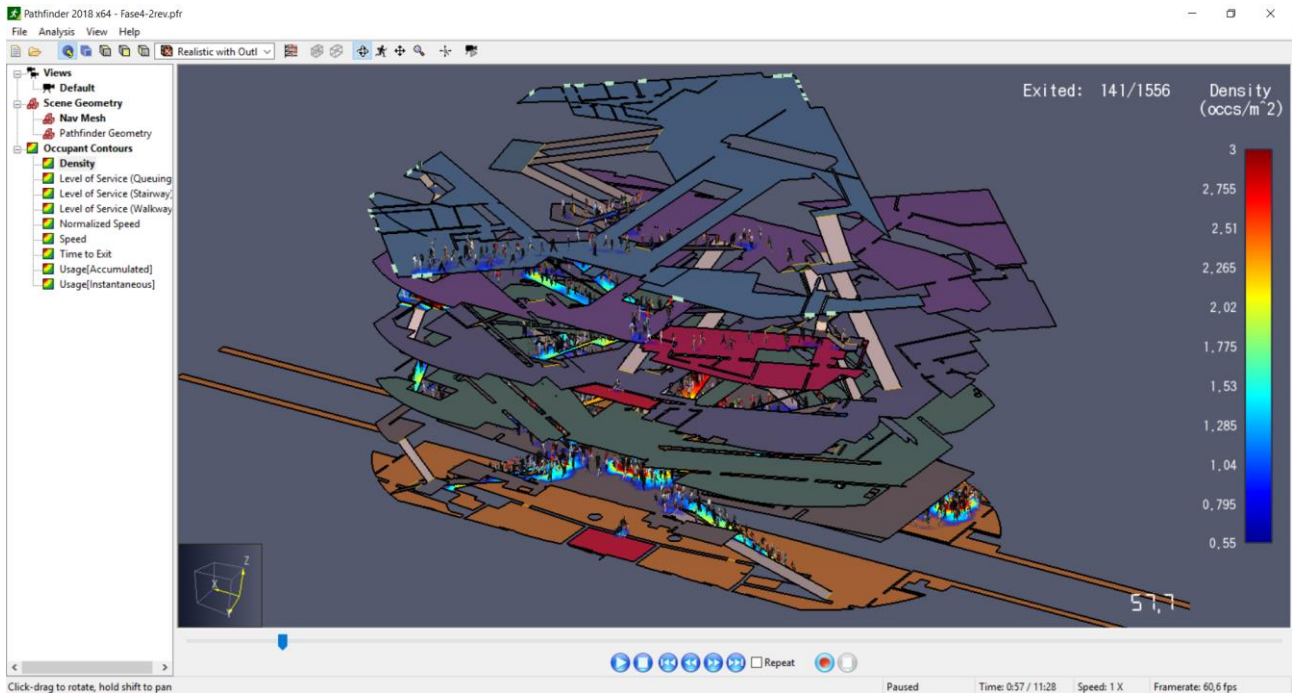


Figura 70: Densità di occupanti

Attraverso la visione dei risultati prodotti da Pathfinder è possibile avere un confronto non solo con i dati prodotti, ma anche con la visualizzazione grafica come riportato nell'immagine precedente.

## 11.3 PyroSim

PyroSim è un modello di calcolo che si basa sulle equazioni di Navier – Stokes, ed è dedicato in modo specifico all'analisi dei possibili scenari di incendio. Questo software rappresenta un'interfaccia grafica dei file fds ed è in grado di simulare fumo, temperatura, monossido di carbonio durante gli incendi.

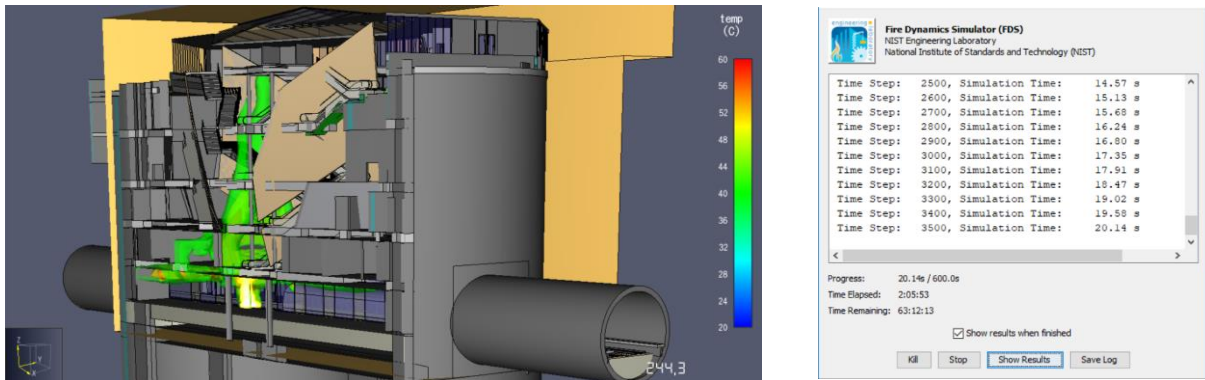


Figura 71: Software PyroSim

Il funzionamento di PyroSim si basa sulla combinazione di un file di input di tipo testuale che contengono le istruzioni circa i vari parametri di calcolo utilizzati. Tali istruzioni sono raccolte in righe di comando, organizzate in gruppi lista di vario tipo. Le linee di comando sono costituite da raggruppamenti di parametri, ognuno dei quali fa riferimento ad un determinato gruppo lista.

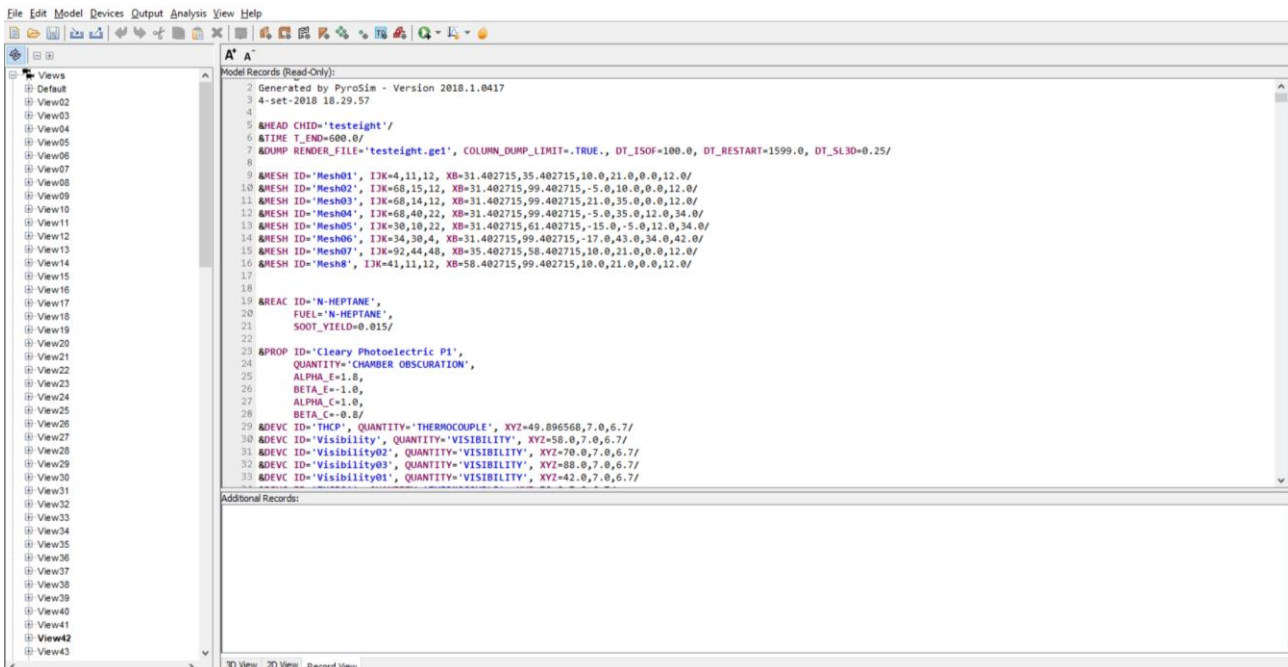


Figura 72: Linee di comando PyroSim

Tutti i calcoli di PyroSim riguardano un dominio costituito da volumi di forma parallelepipedica, chiamati *mesh*. Ognuno di questi volumi è diviso in celle rettangolari, il cui numero totale dipende dalla risoluzione desiderata per il problema studiato. Per un dimensionamento ottimale delle celle, si dovrebbe procedere andando ad aumentare successivamente il numero di celle fino a quando si

nota che gli output sono indipendenti dalla suddivisione del dominio utilizzato. Nelle simulazioni riguardanti i moti indotti dal gradiente termico generato da un incendio, è possibile avere un'idea dell'accuratezza della discretizzazione del dominio in base al calcolo del termine  $D^*$  che indica il diametro caratteristico d'incendio (m) secondo la formula riportata:

$$D^* = \left( \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

Dove

$\dot{Q}$  = rilascio termico (kW);

$\rho$  = densità dell'aria (Kg m<sup>-3</sup>);

T = temperatura (K);

$c_p$  = calore specifico (kJ kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>);

g = accelerazione di gravità (m s<sup>-2</sup>).

Se ci si riferisce a condizioni ambiente ( $T_{\infty} = 293,15$  K), l'espressione proposta diventa:

$$D^* = \left( \frac{\dot{Q}}{1100} \right)^{\frac{2}{5}}$$

Le dimensioni della griglia dovrebbero avere dimensioni pari al 5-10% del valore calcolato per  $D^*$ . Nel caso specifico ci si è quindi rifatti a tali valori:

Input	
Qdot =	2672 kW
dens =	1,204 kg/m3
cp =	1,005 kJ/kg-K
T =	293 K
g =	9,81 m/s2

Output	
D* =	1,4208 m
Mesh D*/5 =	0,2841 m
Mesh D*/10 =	0,1420 m
Mesh D*/20 =	0,0710 m



Nello scenario oggetto di studio sono state realizzate più mesh con diversa dimensione opportunamente allineate tra di loro.

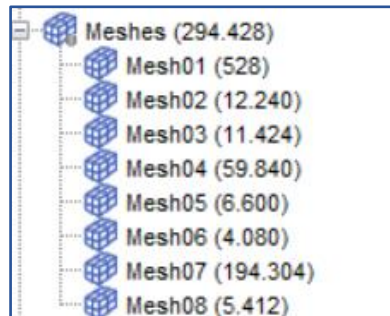


Figura 73: Mesh realizzate su PyroSim

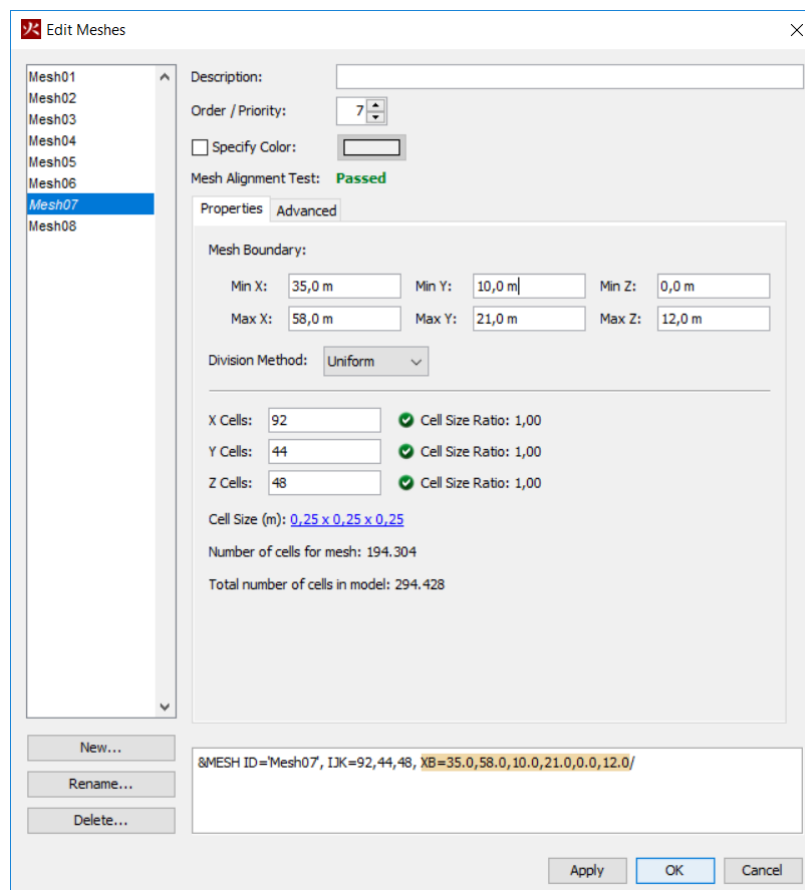


Figura 74: Edita Mesh

Lo scenario di incendio è, come descritto in precedenza, ipotizzato da un esperto, che opera in merito alla ragionevolezza e alla realistica delle ipotesi assunte inizialmente. Per il seguente caso studio è stato analizzato lo scenario più tipico dell'ambiente metropolitano e quindi un incendio in galleria con e senza ventilazione meccanica interna alla stessa.

Viene successivamente definita la reazione caratterizzante lo scenario d'incendio definito:

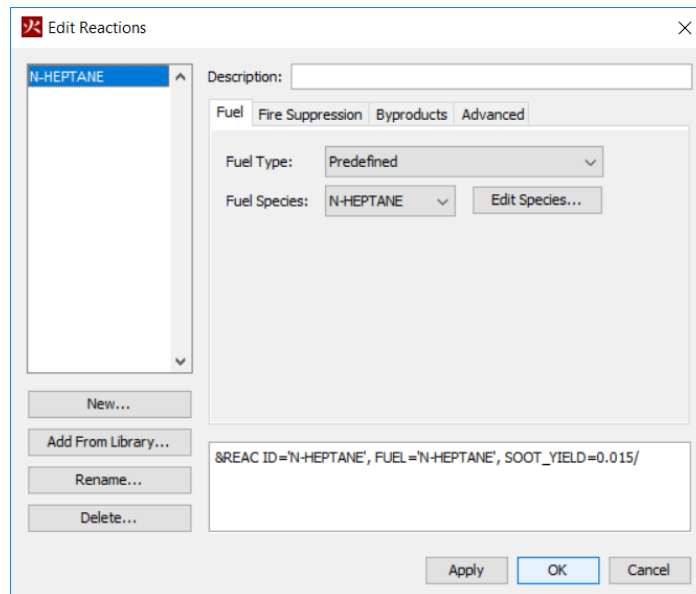


Figura 75: Edita Reazione

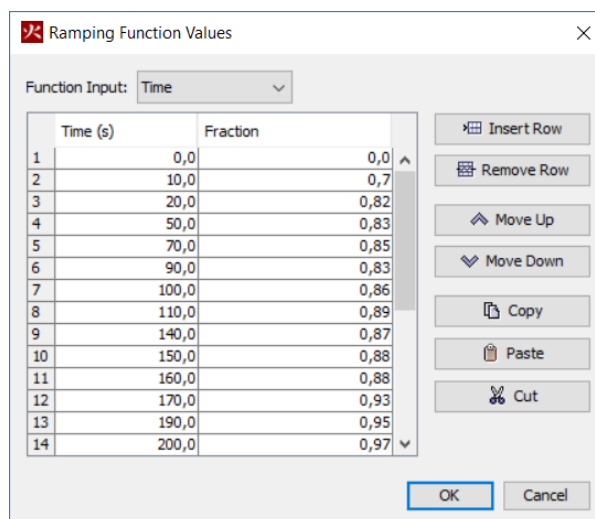
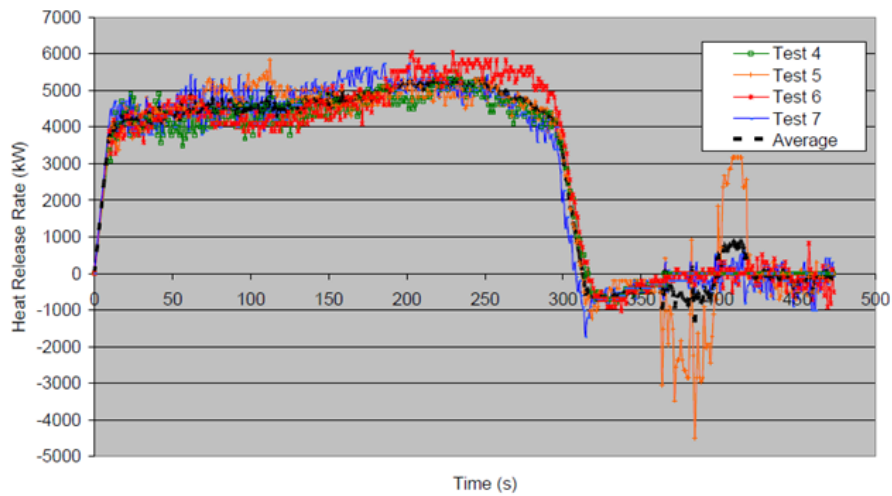


Figura 76: Curva HRR

La reazione e la curva HRR impostata per il focolaio sorgente è stata presa direttamente dalla letteratura tecnica. Si ipotizza quindi di aver concordato con il comando VVF (Vigili del Fuoco) l'adozione di tale curva, per tenere conto delle reali caratteristiche dei materiali presenti sul vagone. Si riporta quindi la propagazione dei fumi all'interno del dominio oggetto di studio relativo allo scenario appena descritto:

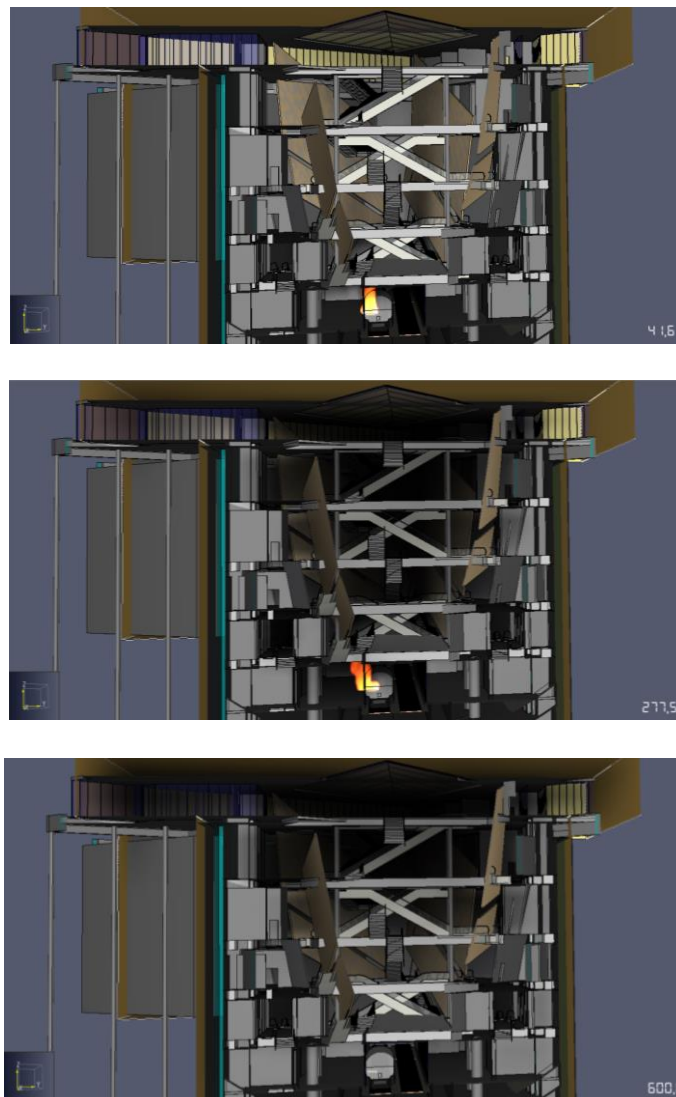


Figura 77: Propagazione Fumi

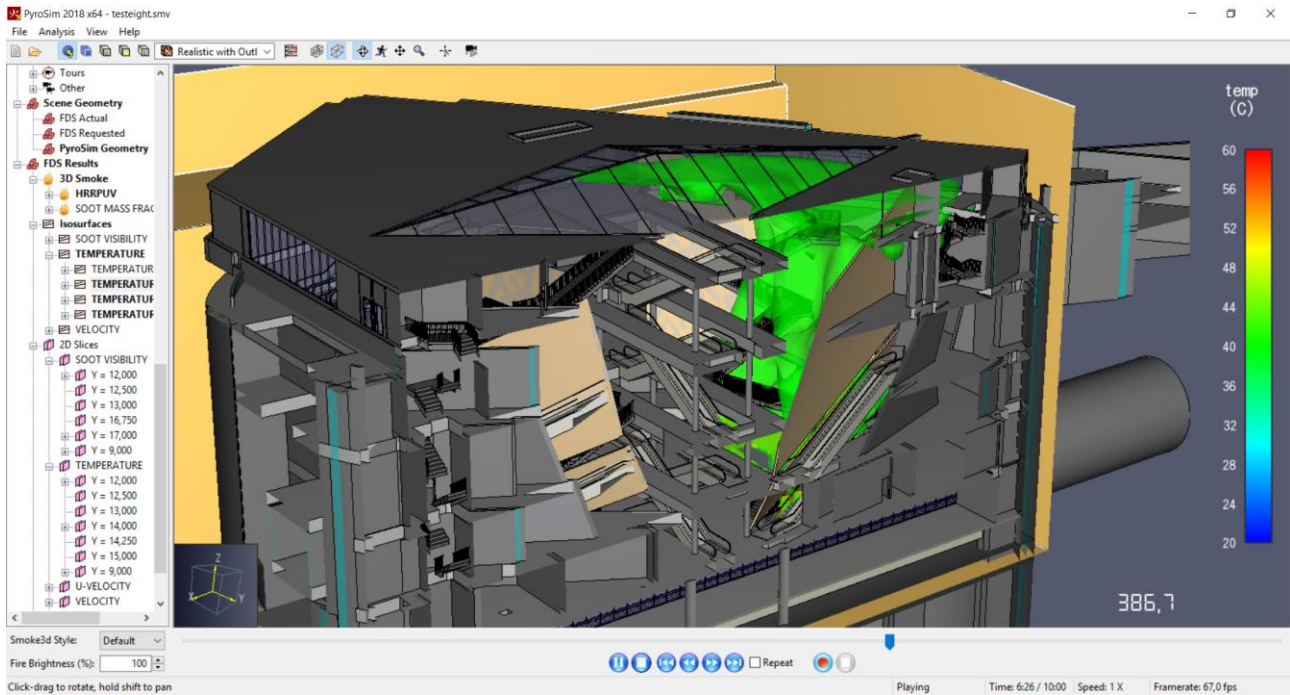


Figura 78: Propagazione Temperatura [40°C]

Gli output generati dai software sono caratterizzati da rilevamenti puntuali dei “Devices”. Questi dispositivi vengono utilizzati per registrare quantità nel modello o per rappresentare sensori più complessi, come rilevatori di fumo, irrigatori e termocoppie. È possibile poi creare grafici dell’output del dispositivo in PyroSim aprendo il file “CHID\_devc.csv” generato automaticamente.

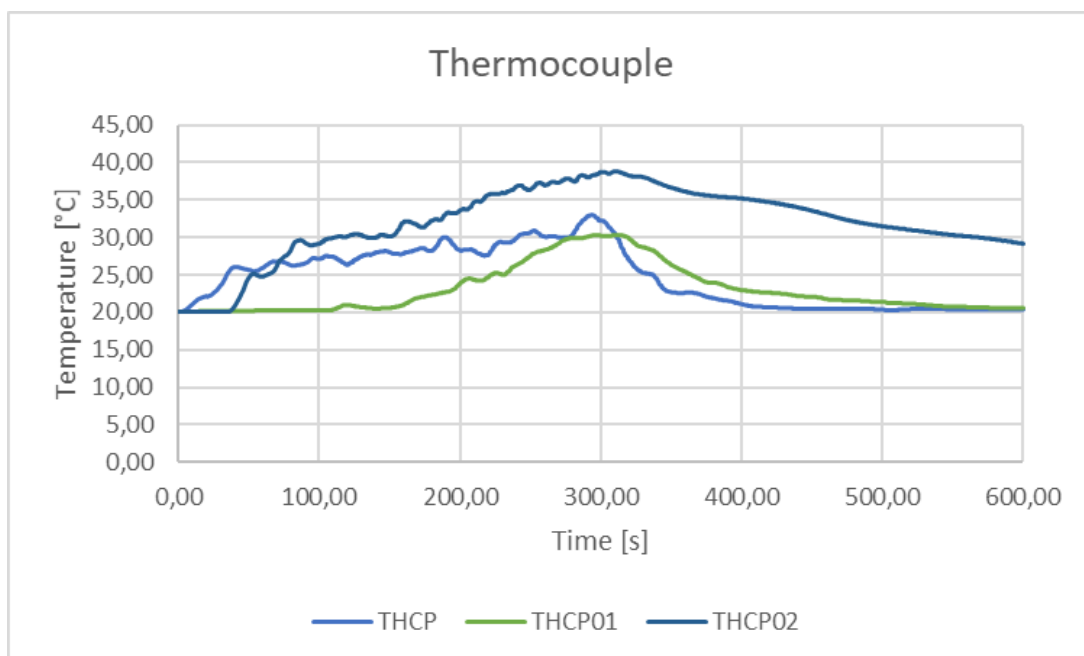


Figura 79: Grafico Termocoppie

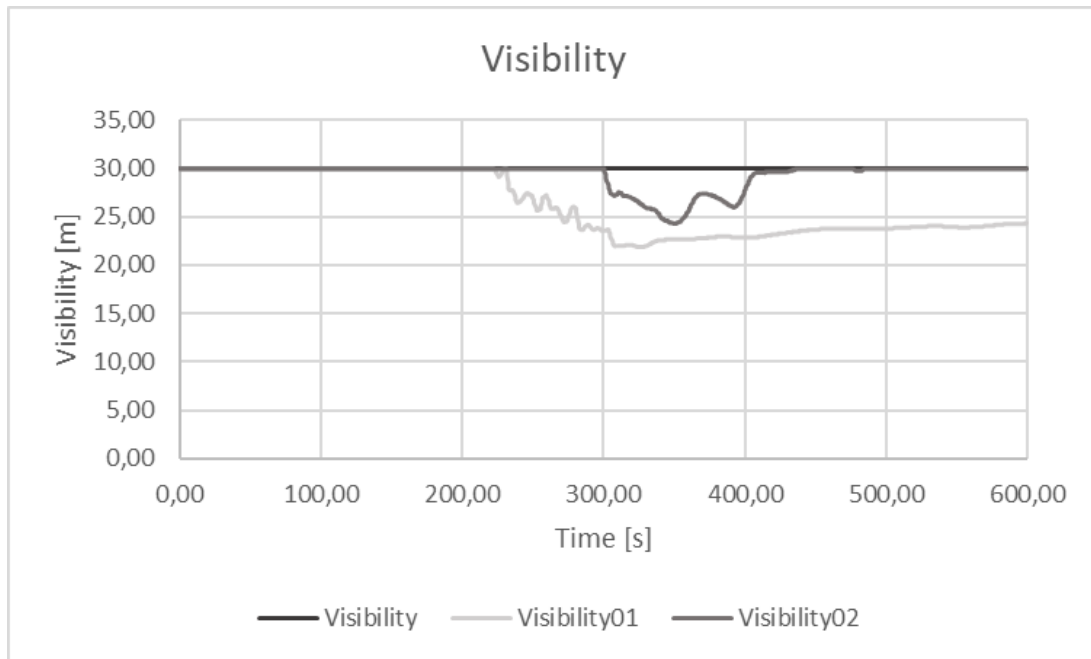


Figura 80: Grafico Visibilità

I grafici realizzati sono relativi ai dispositivi inseriti sulla banchina, lato incendio ad un'altezza pari a 2 metri.

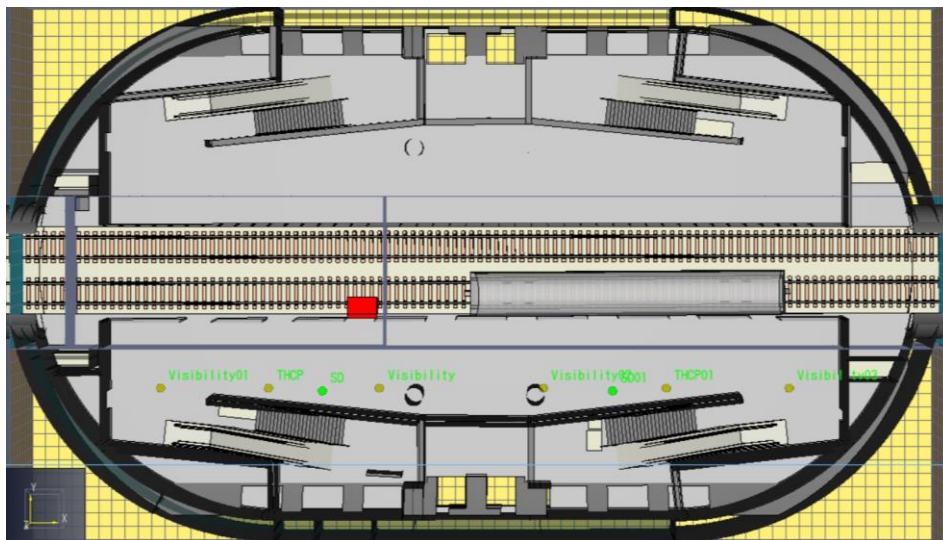


Figura 81: Individuazione "Devices"

Infine, i due software della medesima software house permettono un'unione dei due studi appena descritti (evacuazione e simulazione incendio). Attraverso l'importazione dell'analisi fluidodinamica di PyroSim in Pathfinder è possibile visionare in modo grafico dove, all'interno della struttura, possono esserci delle problematiche relative al livello di prestazione. Perciò oltre all'utilizzo dei "devices" i software permettono una prima visualizzazione per individuare attraverso le "slices 2D" o le isocurve 3D i limiti di prestazione che interferiscono con gli occupanti. Tali parametri, da normativa ISO/TR 13387, sono generalmente caratterizzati come visto prima dalle temperature massime dei gas in ambiente, dai livelli di visibilità, dai livelli di radiazione termica, dai livelli di concentrazione delle specie tossiche e dai livelli minimi di ossigeno.

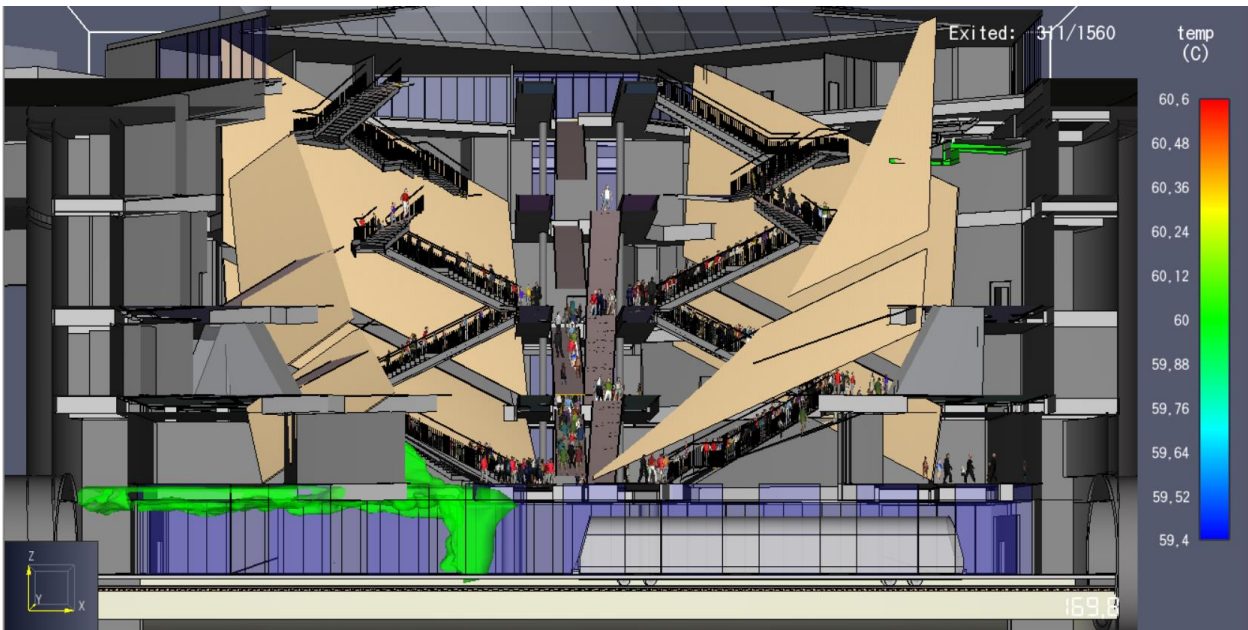


Figura 82: Isocurva [60°C]

Come esempio, si è riportato nella figura sovrastante l'isocurva della temperatura di 60 °C, grado di sopportazione massimo per il corpo umano.



Figura 83: Accoppiamento simulazioni di incendio e di evacuazione

Questo è esclusivamente il primo passo verso l'accoppiamento tra le simulazioni di incendio e di evacuazione. Il futuro sviluppo includerà la consapevolezza degli utenti dell'incendio, che eviteranno percorsi troppo offuscati dal fumo o impraticabili dalle fiamme e la capacità di considerare l'esposizione prolungata da parte degli occupanti, variandone la velocità.

## 11.4 L'InfraBIM per la FSE

Il modelli digitali e l'evoluzione degli strumenti di modellazione vanno ad ampliare le opportunità nel mondo della Fire Safety Engineering. Nel contesto prima descritto si ricerca nel Building Information Modeling (BIM) un supporto che sia metodologico ma anche tecnico per definire un modello gestionale che vada ad integrare le discipline della Fire Engineering e del Safety Management. Nell'ambito di strutture complesse o ad elevato sviluppo verticale come nel caso studio, la visualizzazione 3D garantisce una strategia antincendio più efficace. Valutati poi, l'utilizzo e l'affollamento del sito, il modello generale realizzato diventa, come abbiamo visto, un ambiente per effettuare simulazioni dell'esodo verso luogo sicuro e di operatività dei mezzi di soccorso. Considerando queste esigenze, il processo di interoperabilità, garantito dai formati di scambio, consente di trasferire il modello geometrico e informativo ai software specifici.

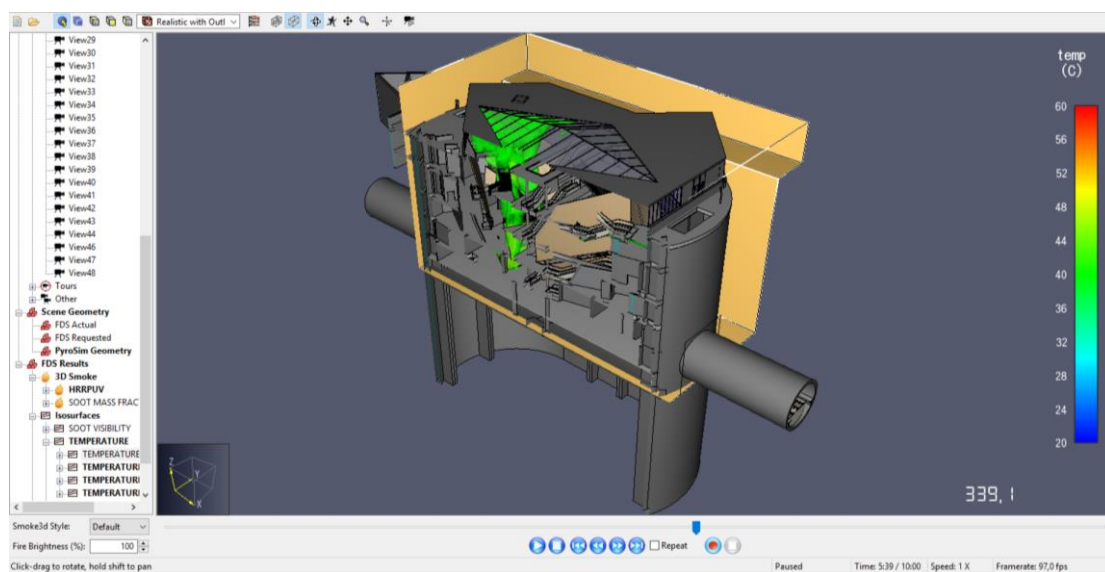


Figura 84: PyroSim - Isocurve

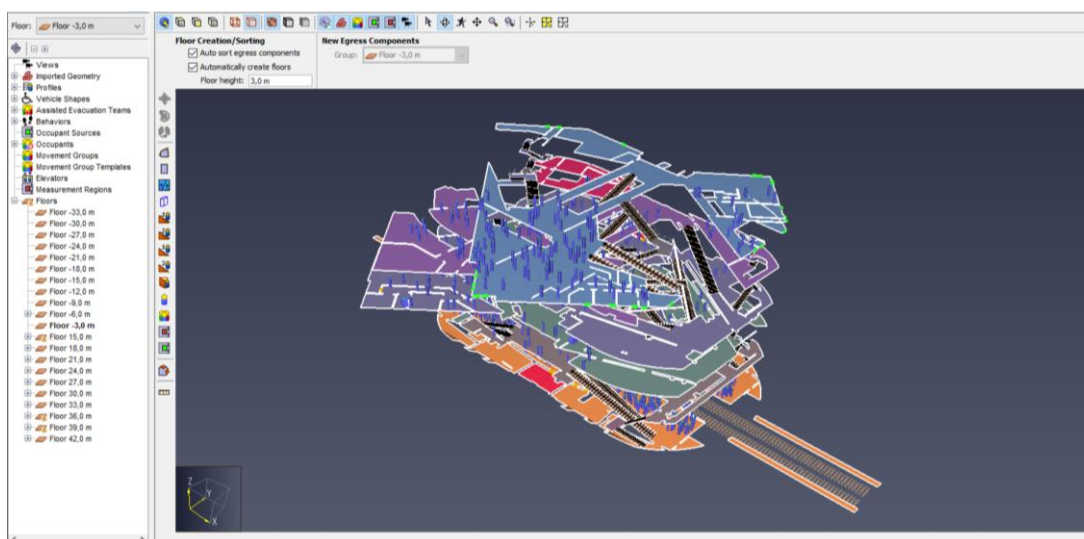


Figura 85: Pathfinder - Distribuzione occupanti

Lo sviluppo progettuale dev'essere condotto in modo da ottenere risultati finali che, confrontati in base ai requisiti iniziali, soddisfino i livelli di prestazione attesi. La scelta del progettista di avvalersi dell'approccio ingegneristico comporta oggi una documentazione integrativa rispetto a quella prevista dal D.P.R. 37/98, di cui il contenuto si può riassumere in quanto segue:

- “Sommaro tecnico: deve contenere il percorso logico seguito per l'individuazione di:
- “Scenario d'incendio di progetto”;
- “Obbiettivi di sicurezza e livelli di prestazione”;
- “Relazione tecnica: deve esprimere in forma esaustiva ed efficace le modalità di calcolo adottate per descrivere il comportamento del sistema in merito al tipo di analisi condotta”;
- **“Elaborati grafici (disegni, schemi grafici e immagini)”**;
- “Piano di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)” [9].

Si rende necessario quindi, al fine di promuovere il processo di digitalizzazione del settore delle costruzioni apportato dalla normativa UNI 11337 in materia di BIM e InfraBIM: Rendere disponibili gli output e i grafici ottenuti dai software all'interno del mondo BIM per una facilitazione della verifica da parte degli enti di controllo, e dei progettisti stessi per un controllo automatico e istantaneo. Una variazione progettuale in un modello in fase di sviluppo comporterebbe poi una verifica istantanea attraverso la simulazione e eventuale correzione in ambito progettuale se necessario, garantendo un approccio più automatizzato come attuato in questa tesi per le altre dimensioni nel mondo dell'infraBIM.

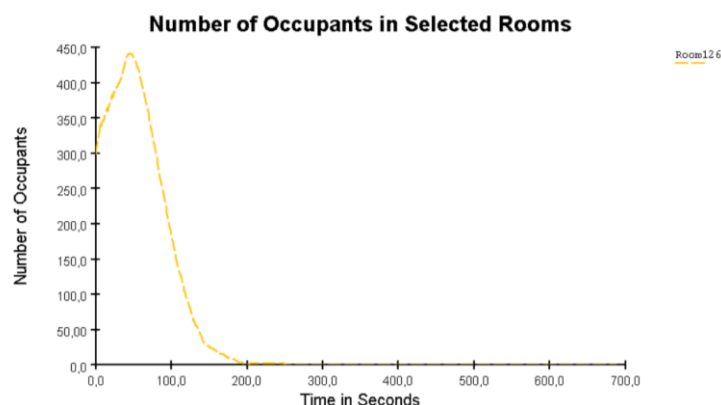


Figura 86: Grafico numero di occupanti per determinato locale

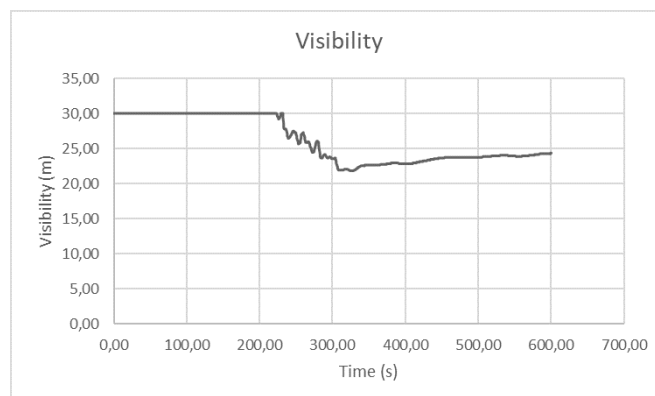


Figura 87: Grafico Visibilità per determinato locale



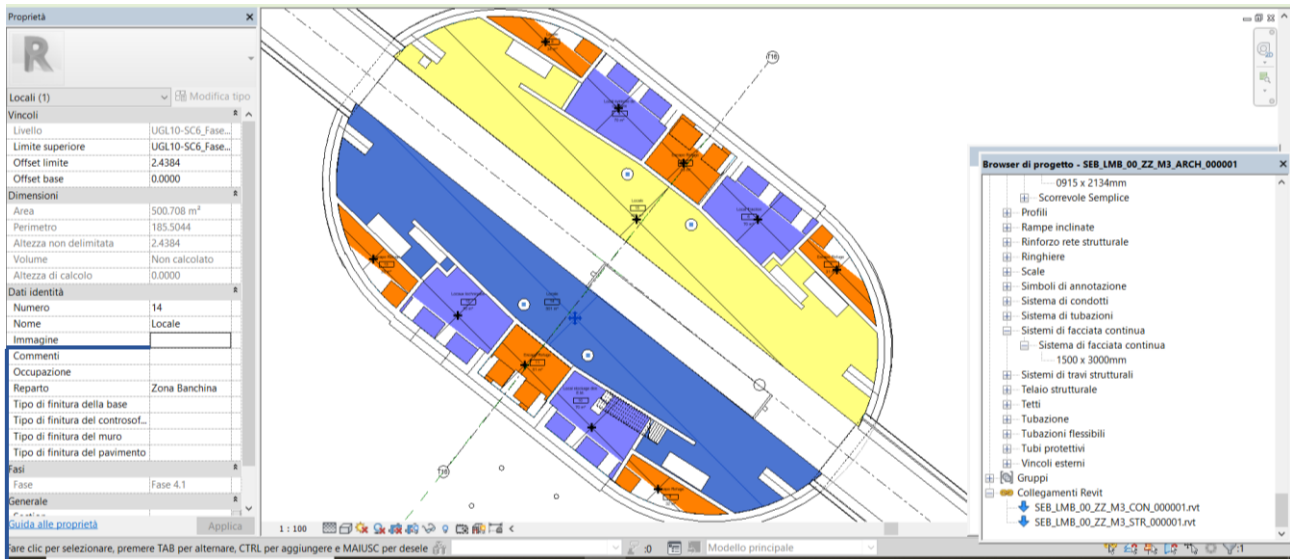


Figura 88: Locali in Revit

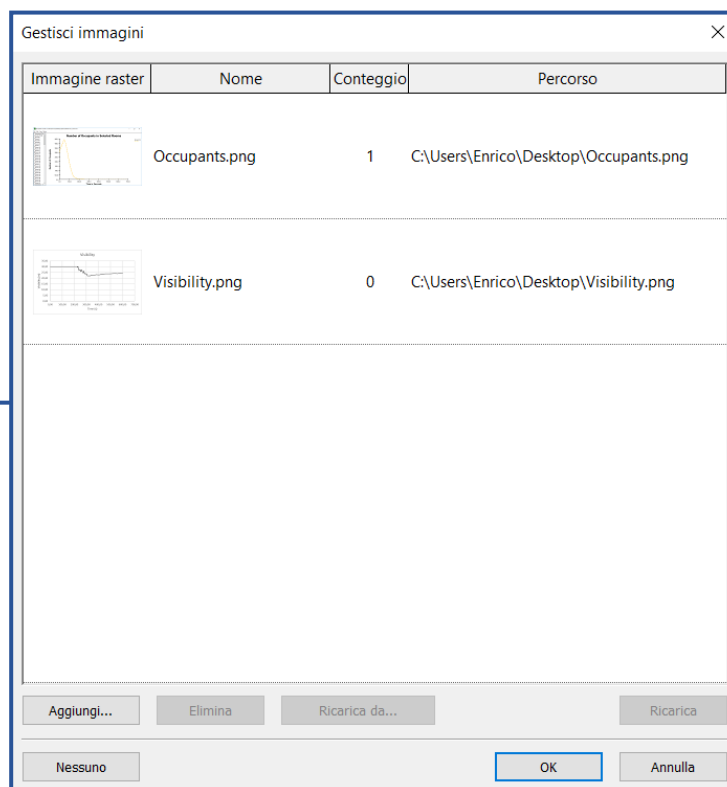


Figura 89: Importazione dei Grafici come parametro

Viene quindi riportato come esempio di quanto descritto in precedenza, il grafico relativo agli occupanti e alla visibilità in funzione del tempo di un dispositivo (“Device”) riportato nel locale banchina.

Attraverso l’inserimento di queste due informazioni all’interno del parametro Immagine relativo ad un locale, sarà possibile da parte dei Vigili del Fuoco e quindi dall’ente preposto al controllo, definire la validità e la rispondenza alle soglie prestazionali dettate da normativa.

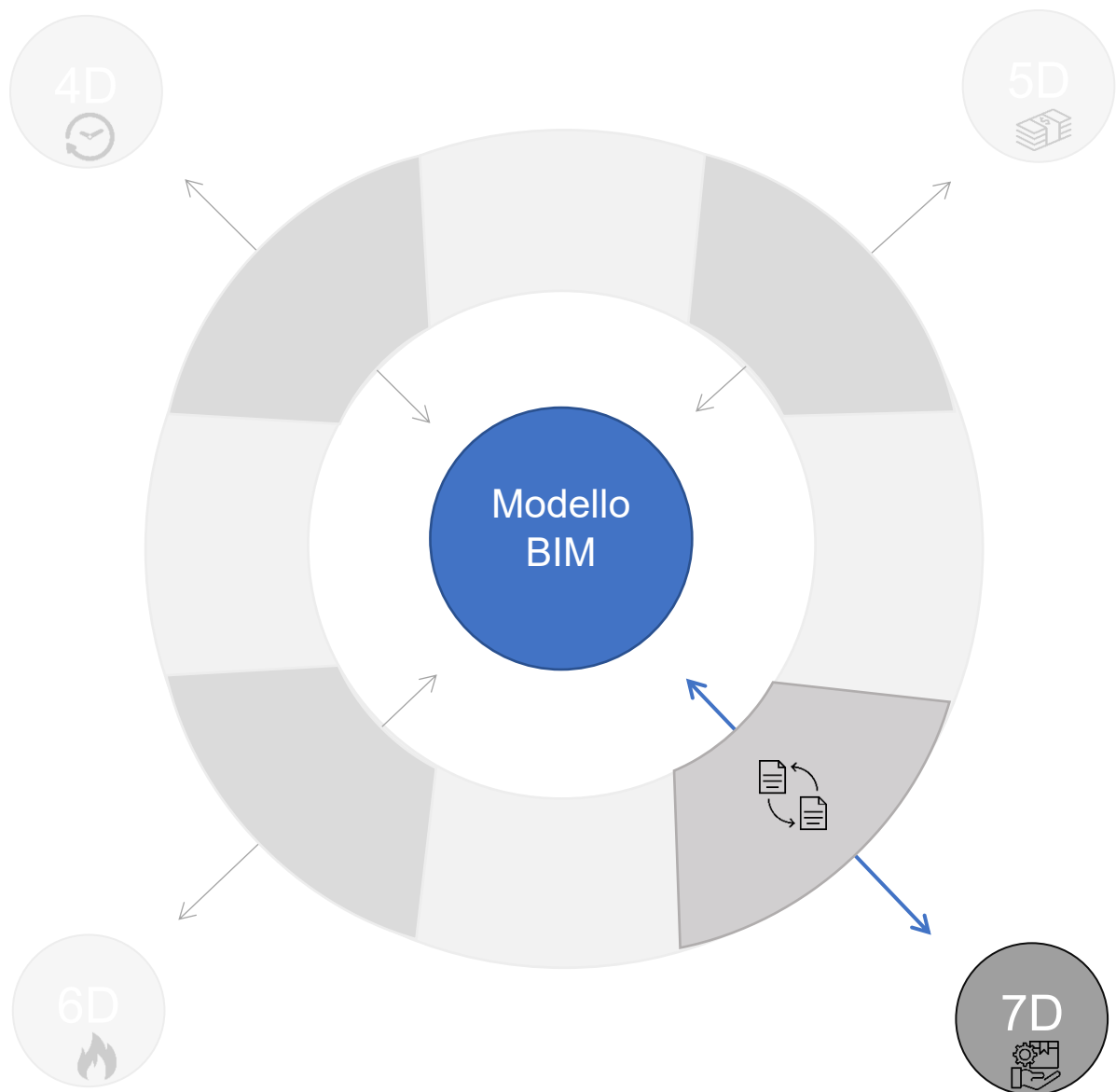
## 12.0 Conclusioni e sviluppi futuri

In conclusione, il lavoro di tesi presentato, si è posto l'obiettivo quello di elencare i vantaggi ottenibili dall'utilizzo della metodologia InfraBIM nel campo delle n dimensioni. L'interoperabilità tra i vari software utilizzati, per assicurare questa efficienza e automatizzazione, garantisce infatti, una serie di benefici a chi opera nel settore delle costruzioni.

Ogni dimensione è stata supportata e arricchita da software specifici cercando di sfruttare al massimo l'interoperabilità e di riutilizzare dati già generati. Attraverso il collegamento del modello BIM ai processi di pianificazione, stima e analisi FSE i professionisti all'interno del team di progettazione possono ridurre i tempi di realizzazione dell'opera, velocizzare la redazione del computo metrico e degli elaborati e ridurre le tempistiche di verifica e validazione da parte degli enti. Tutto ciò ottenendo un feedback rapido sugli effetti delle modifiche progettuali del modello. Si ricordi però, che questi strumenti sono di supporto ma non sostituiscono le figure professionali addette a tali ruoli. Un esempio banale è quello relativo al computo metrico, in questo caso la metodologia BIM è solo uno dei passaggi di un processo di stima complessivo dei costi, infatti, anche la precisione dei dati ottenibili da uno strumento BIM non tengono in considerazione delle condizioni del sito o la complessità della struttura che devono essere quantificate a parte, attraverso l'esperienza di un professionista. L'utilizzo e sviluppo di queste metodologie va ad allinearsi anche alle nuove disposizioni del nuovo Codice degli Appalti, nel quale vengono introdotti metodi e strumenti che si avvalgono oggi di piattaforme interoperabili sviluppate nell'ottica del concetto di dematerializzazione in atto nella Pubblica Amministrazione.

Come sviluppo futuro, sarebbe di notevole interesse, proseguire lo studio relativo all'antincendio, soffermandosi però su un approccio di tipo prescrittivo anziché prestazionale. Un approccio di tipo prescrittivo garantirebbe infatti una maggiore fruibilità e facilità di lettura dei parametri impostati nel software di modellazione parametrica anche attraverso software di "model checker" come "Solibri" che andrebbero a valutare in modo diretto il raggiungimento del livello da garantire.

Nell'ambito del BIM invece, e più nello specifico dell'InfraBIM per il **7D**, dedicato al **Facility Management**, sono state gettate le basi per uno studio futuro sulla manutenzione di tali strutture.





Con la stessa metodologia riportata al Capitolo 11.3 possono essere sfruttati gli output prodotti dai software ampiamente descritti. Un esempio pratico è uno dei grafici generato dal software Pathfinder:

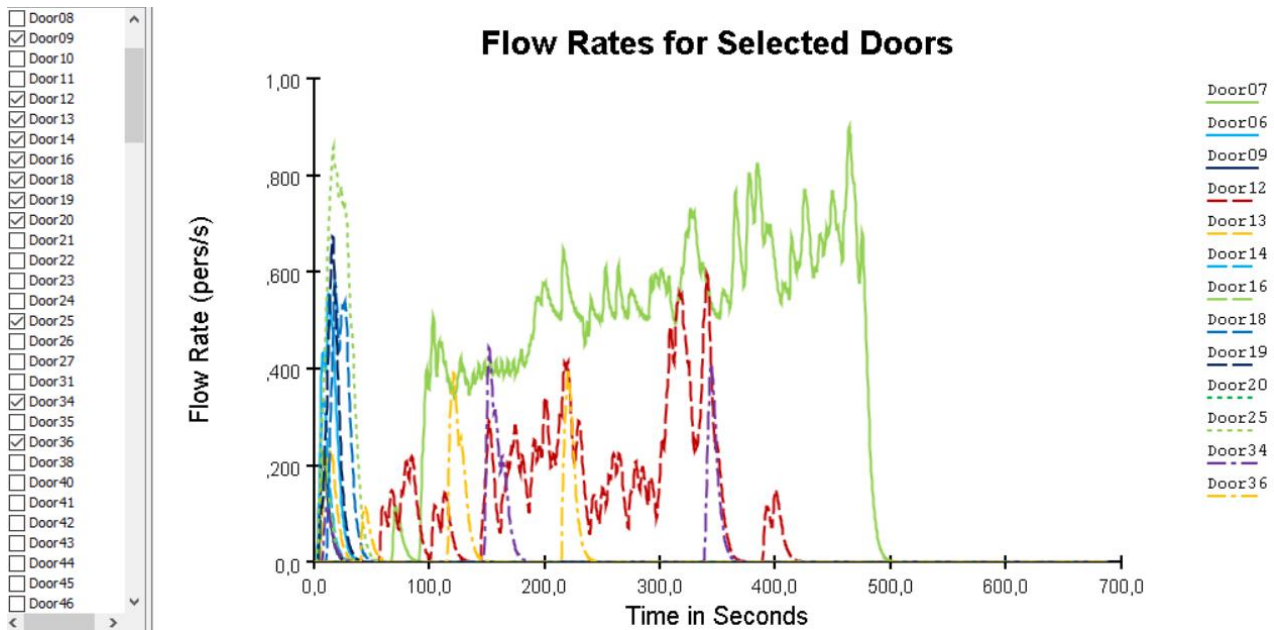


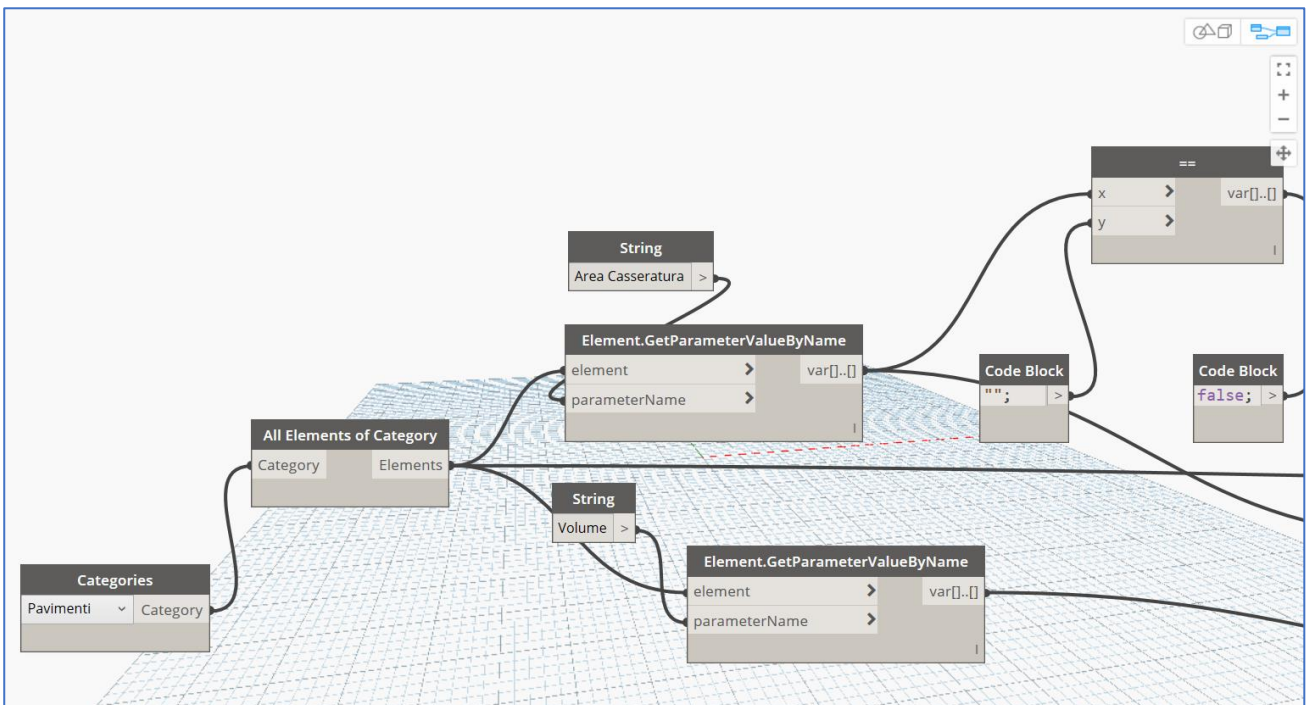
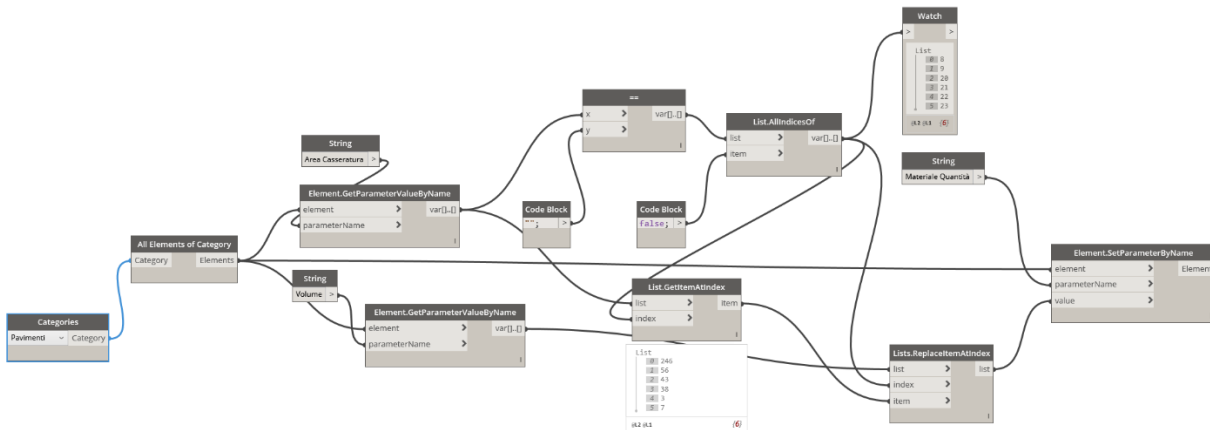
Figura 90: Portata delle porte selezionate

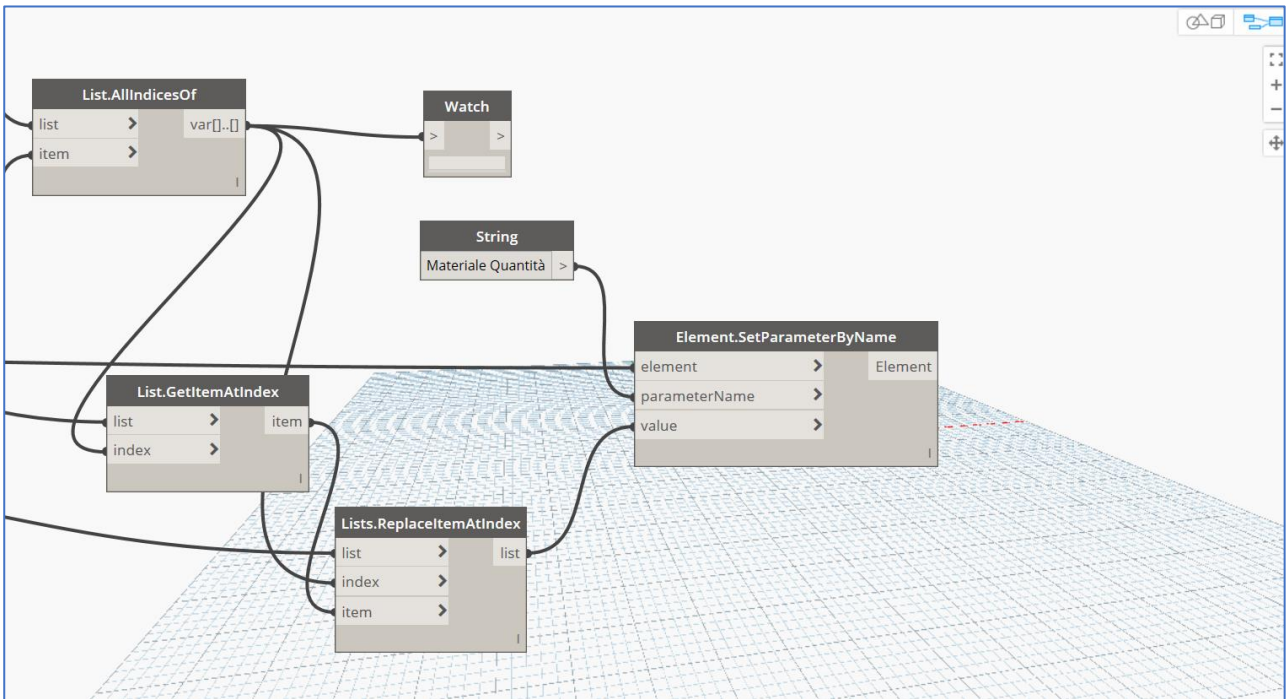
Come si nota dalla figura, il grafico ci consente di individuare l'uscita maggiormente utilizzata durante l'esodo degli utenti in un evento occasionale come in un incendio, ma può essere sfruttato anche per eventi ricorrenti, come l'utilizzo giornaliero delle porte. Perciò da questi dati, che non sono altro che informazioni all'interno dell'ambiente Revit, posso determinare l'utilizzo effettivo delle porte (ad esempio REI) che avranno maggiore necessità di controlli e verifiche periodiche.



# 13.0 Allegati

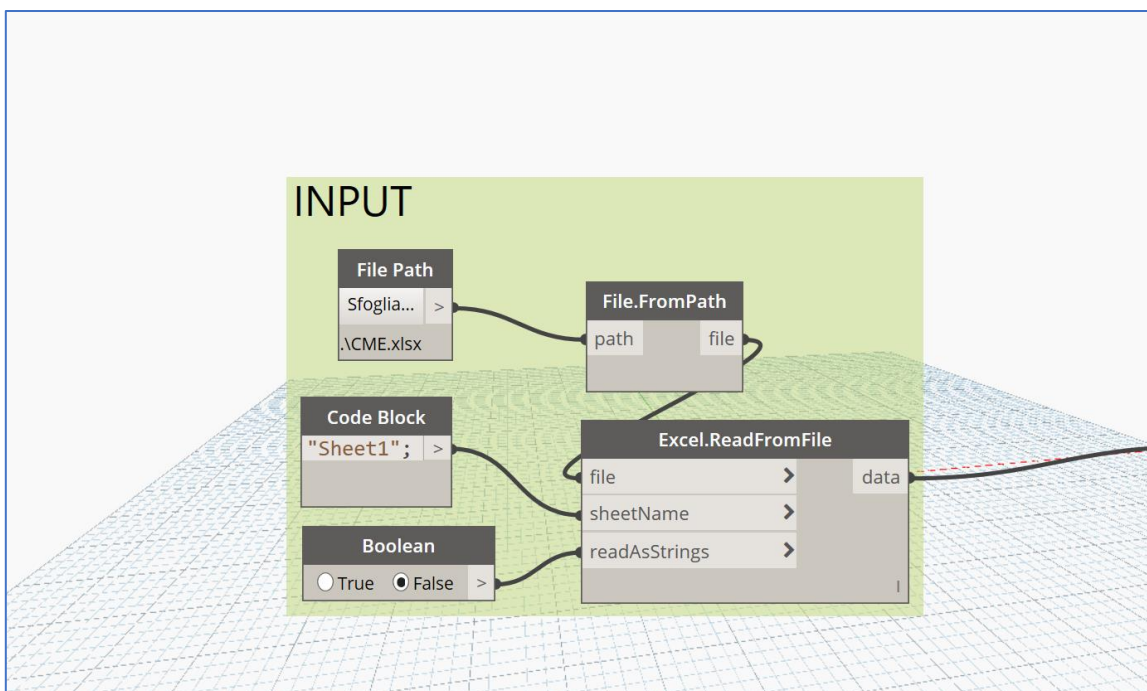
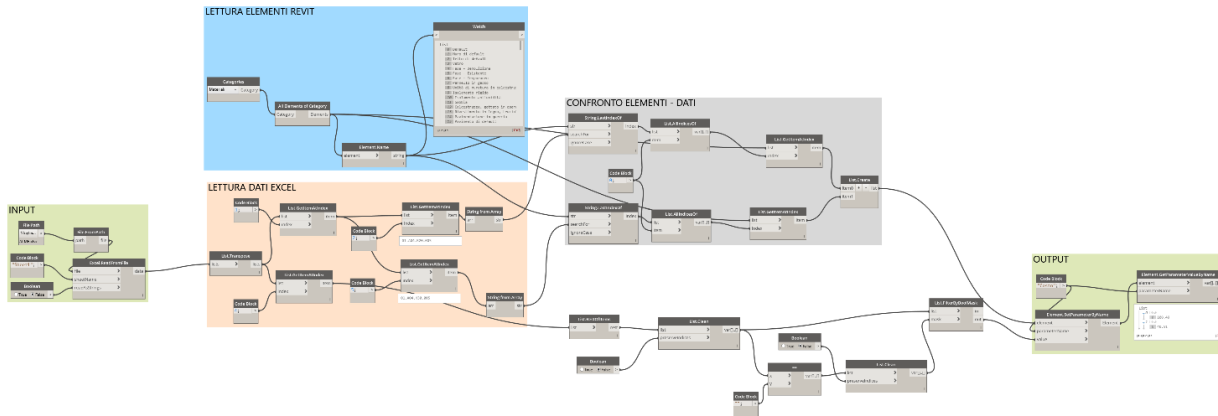
1. Realizzazione di un computo metrico direttamente sul software Autodesk Revit attraverso la realizzazione di una colonna “Materiale Quantità” nell’abaco dei materiali, contenente il volume o la superficie in funzione della categoria.

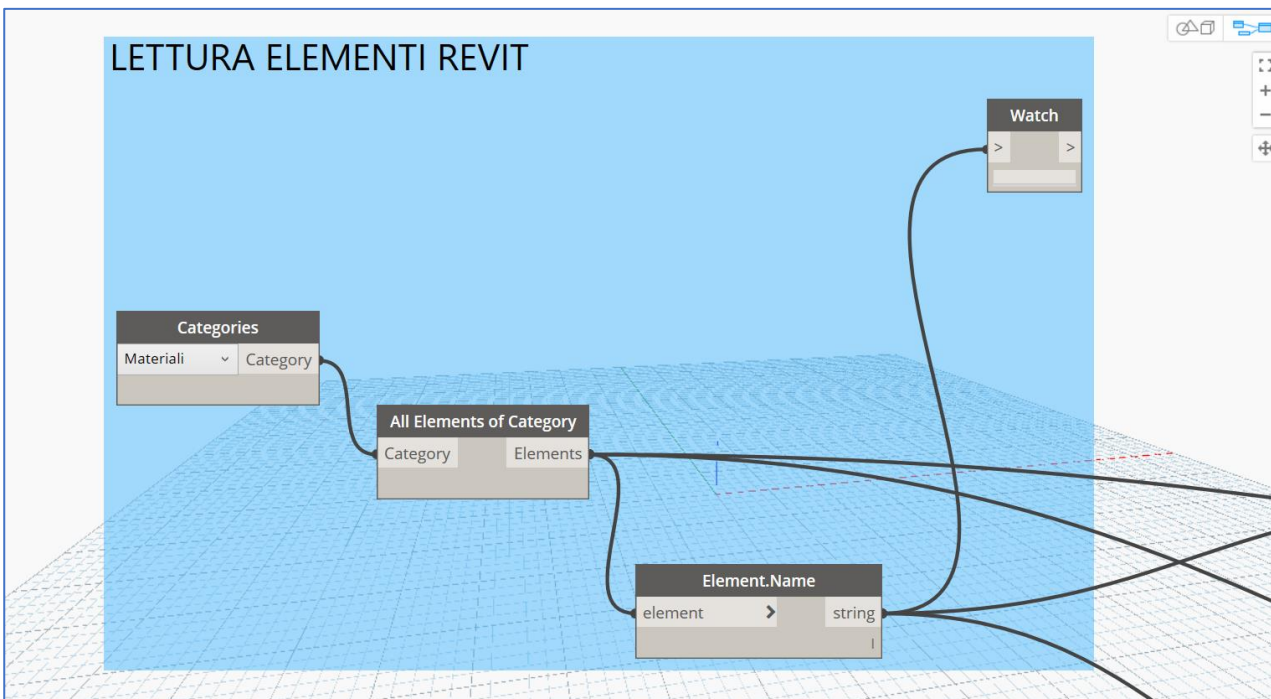
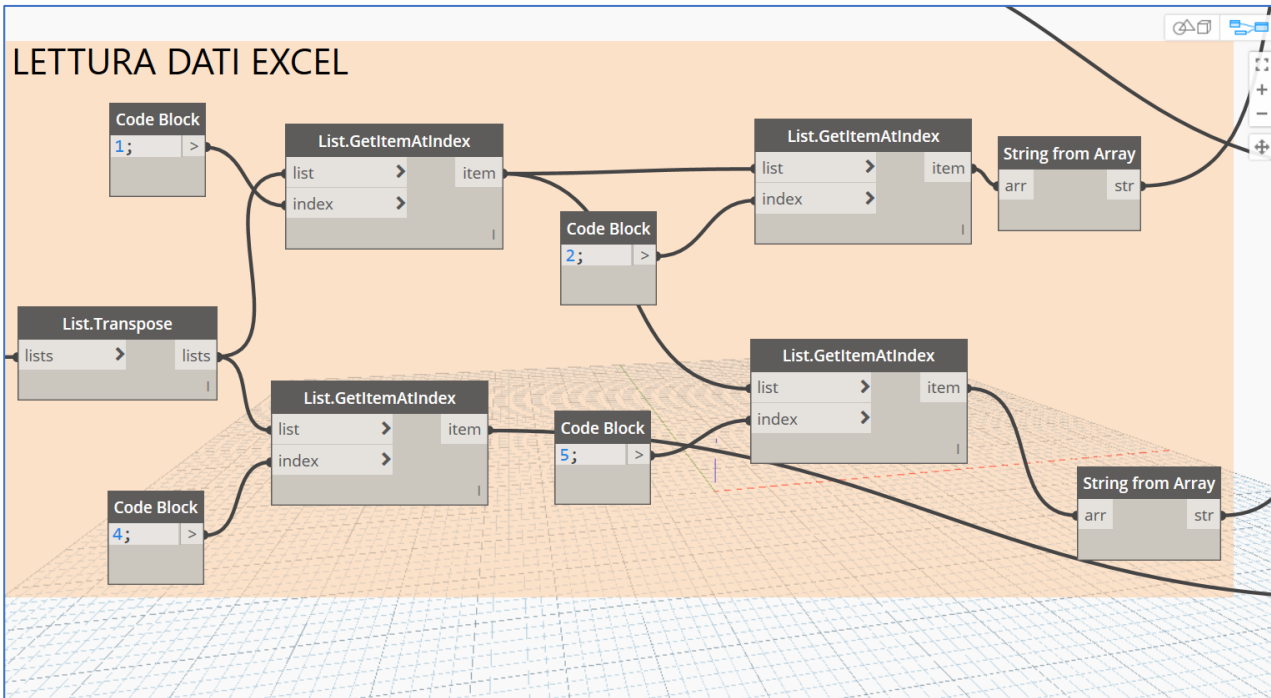


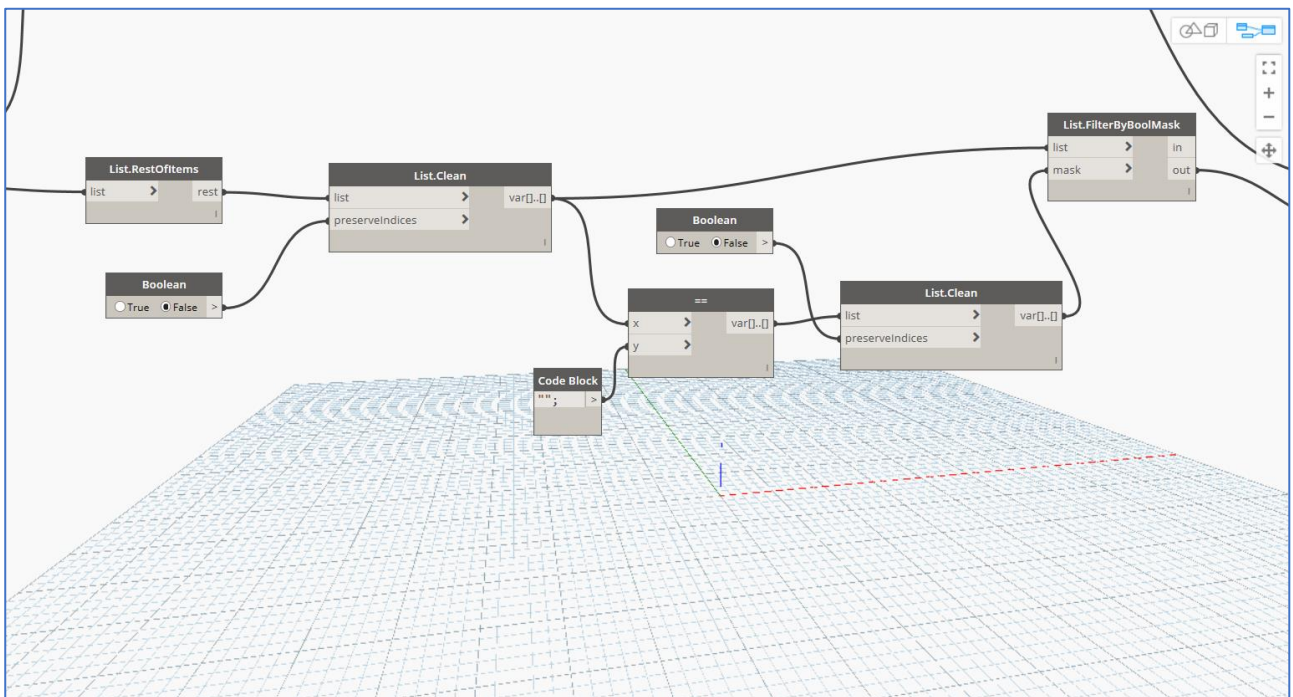
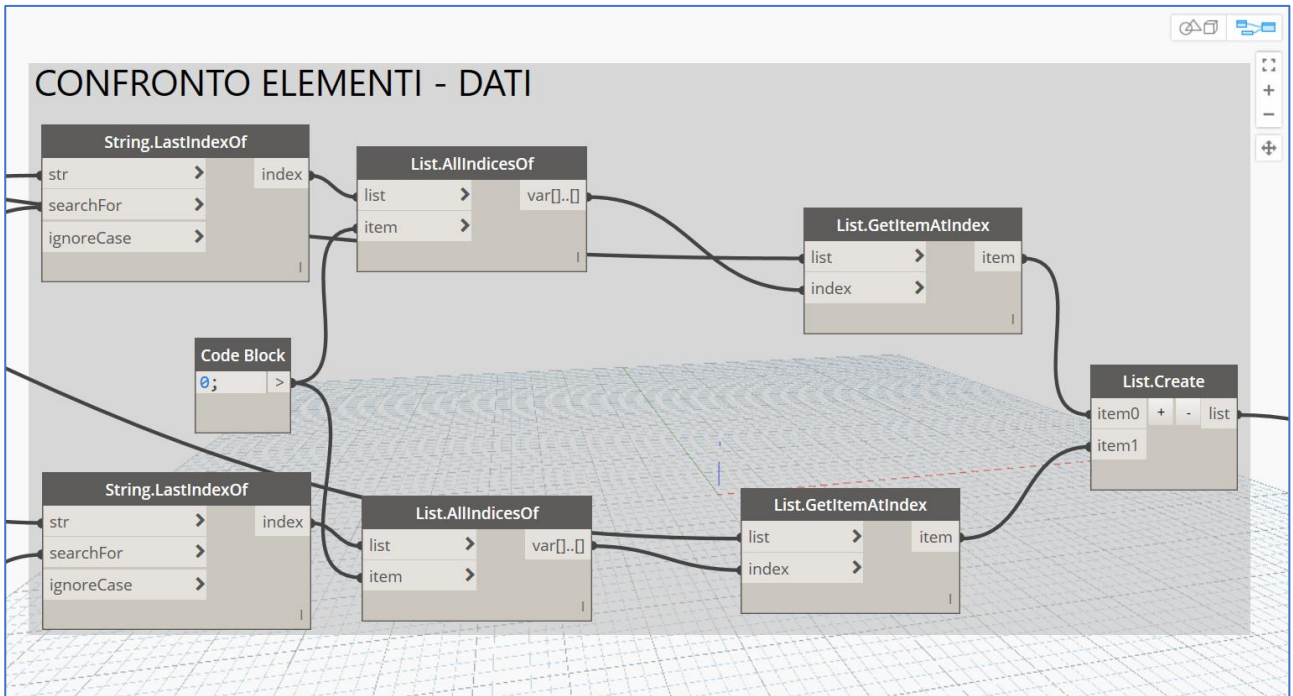


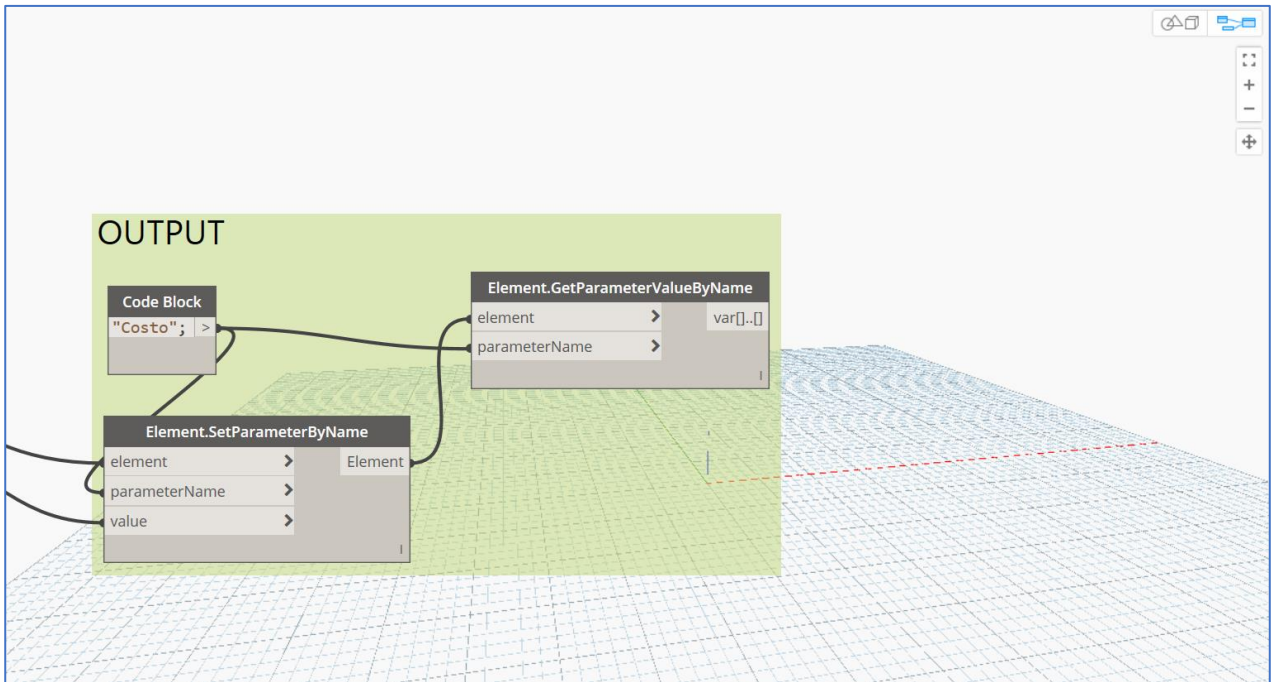


**2. Possibilità di importazione automatica dei costi parametrici da un CME (realizzato su un file Excel) nell'ambiente BIM.**

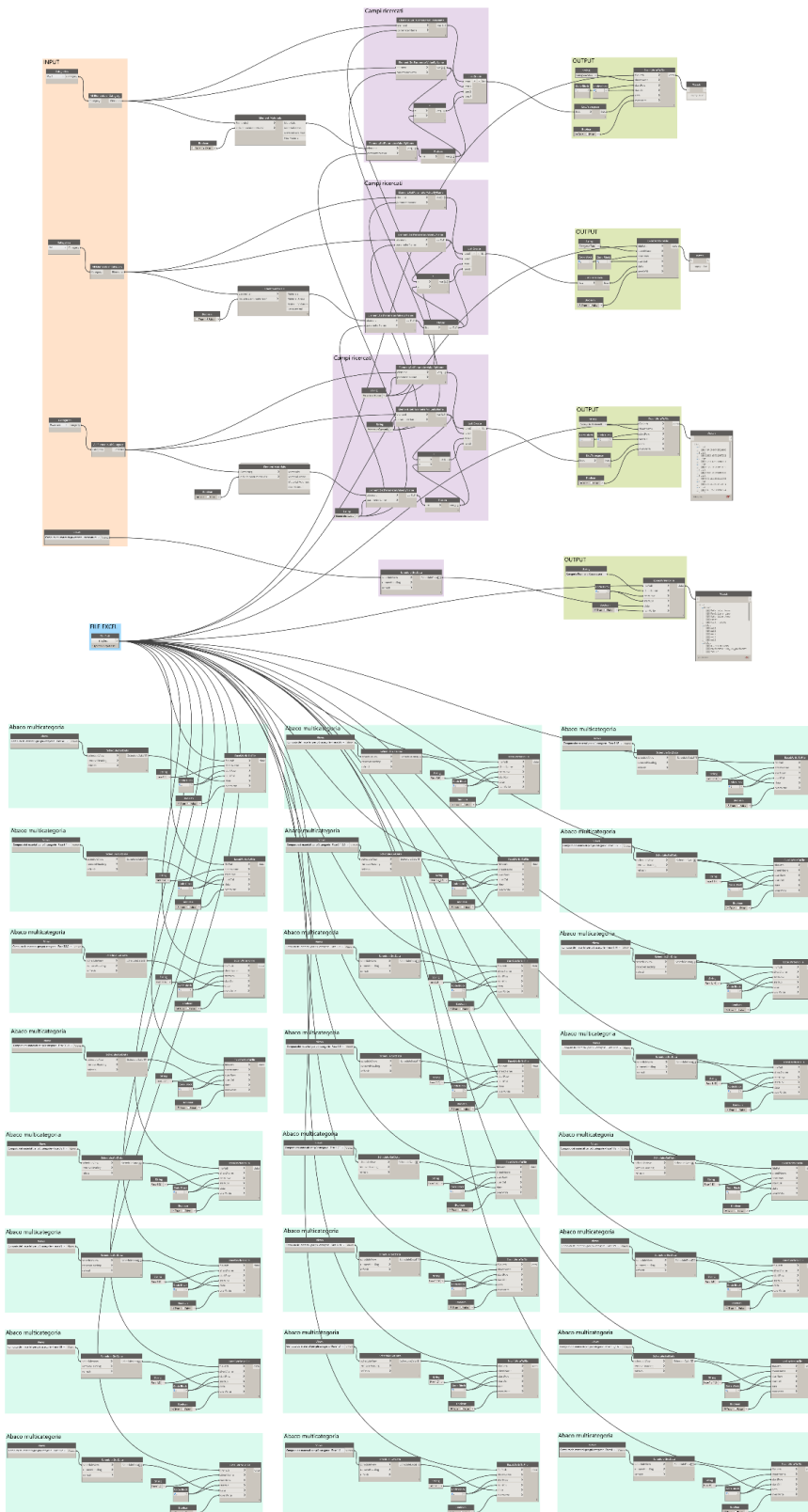


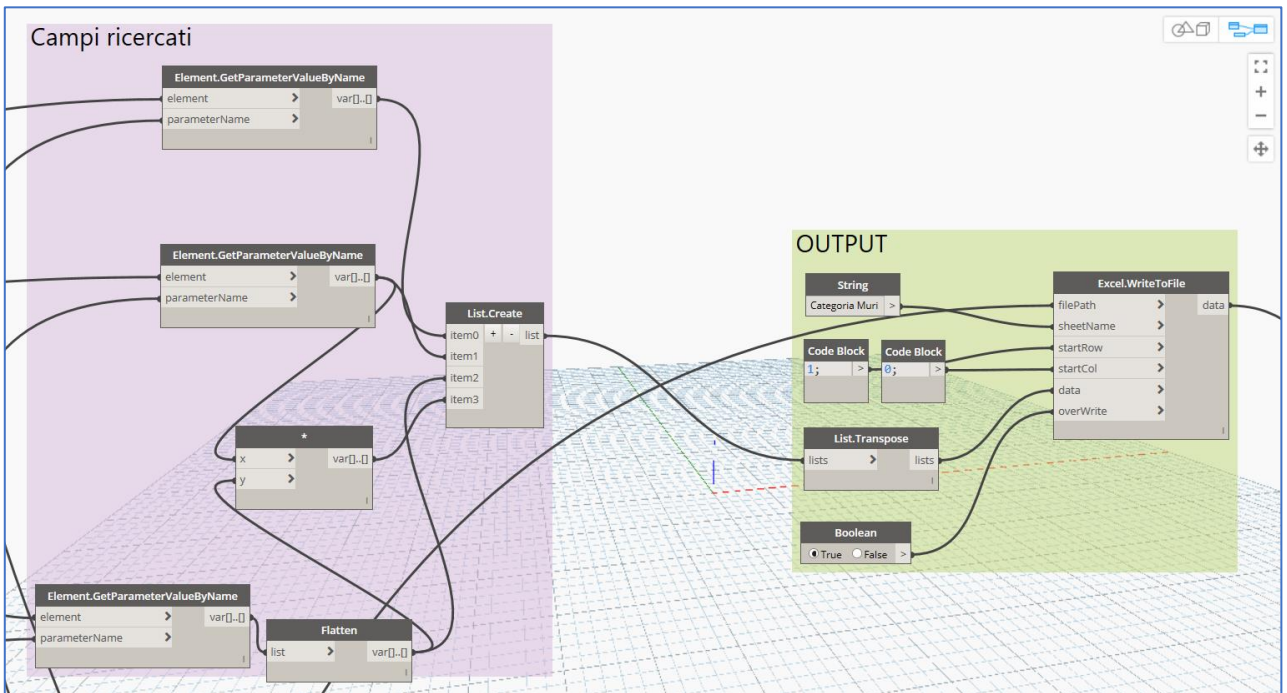
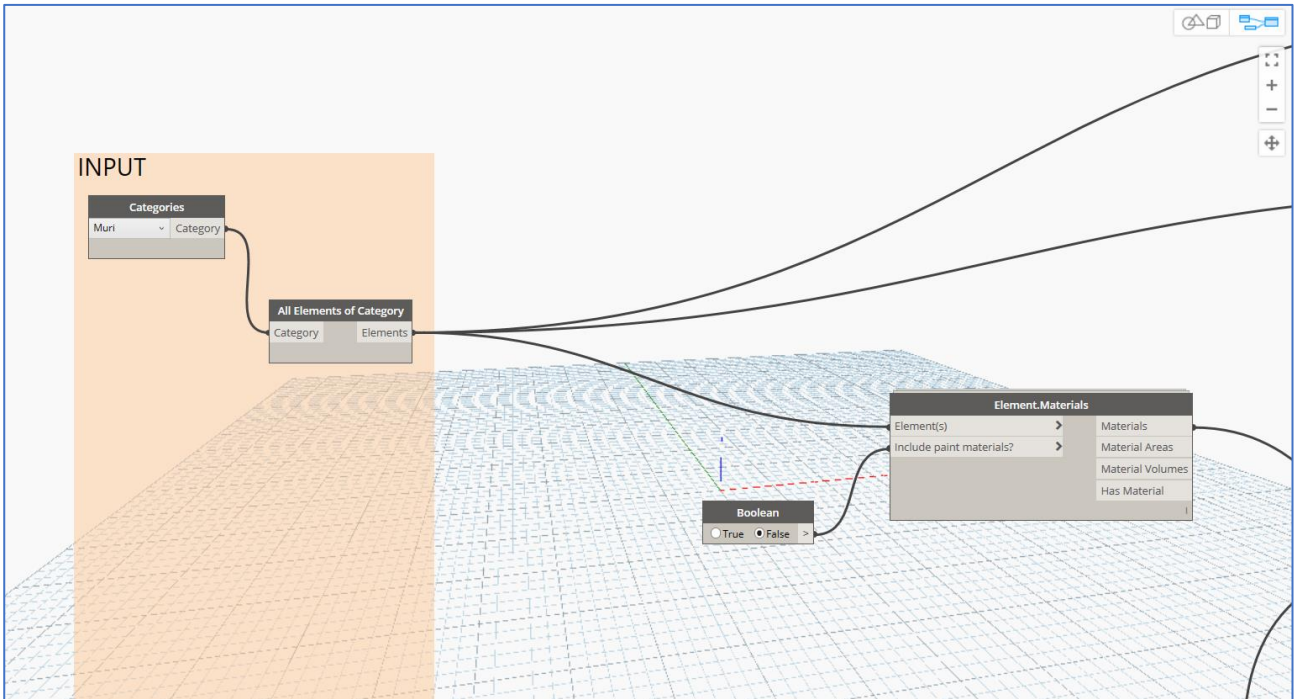


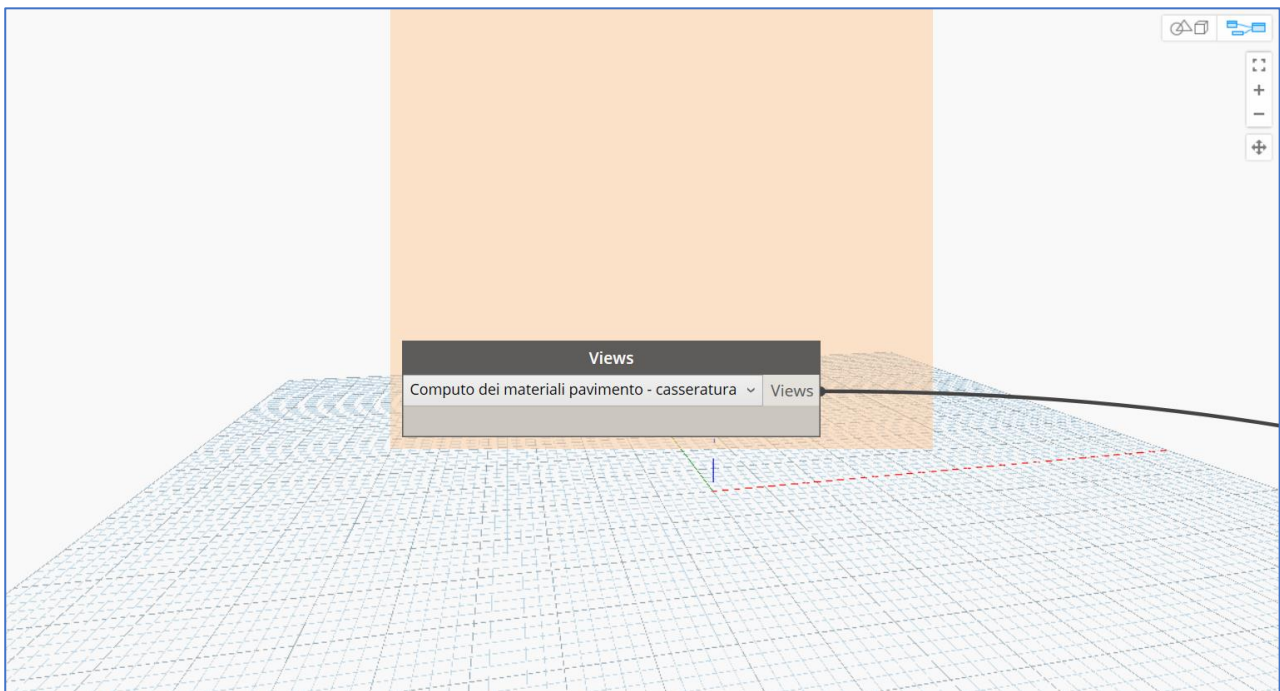
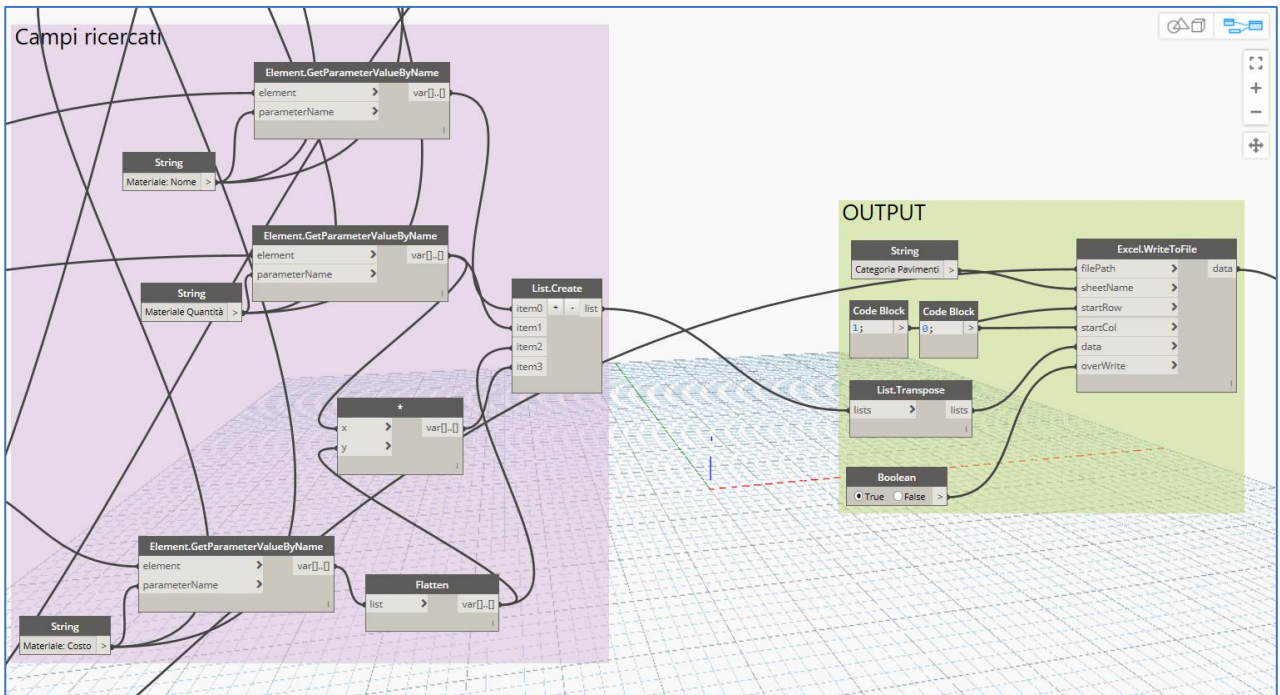


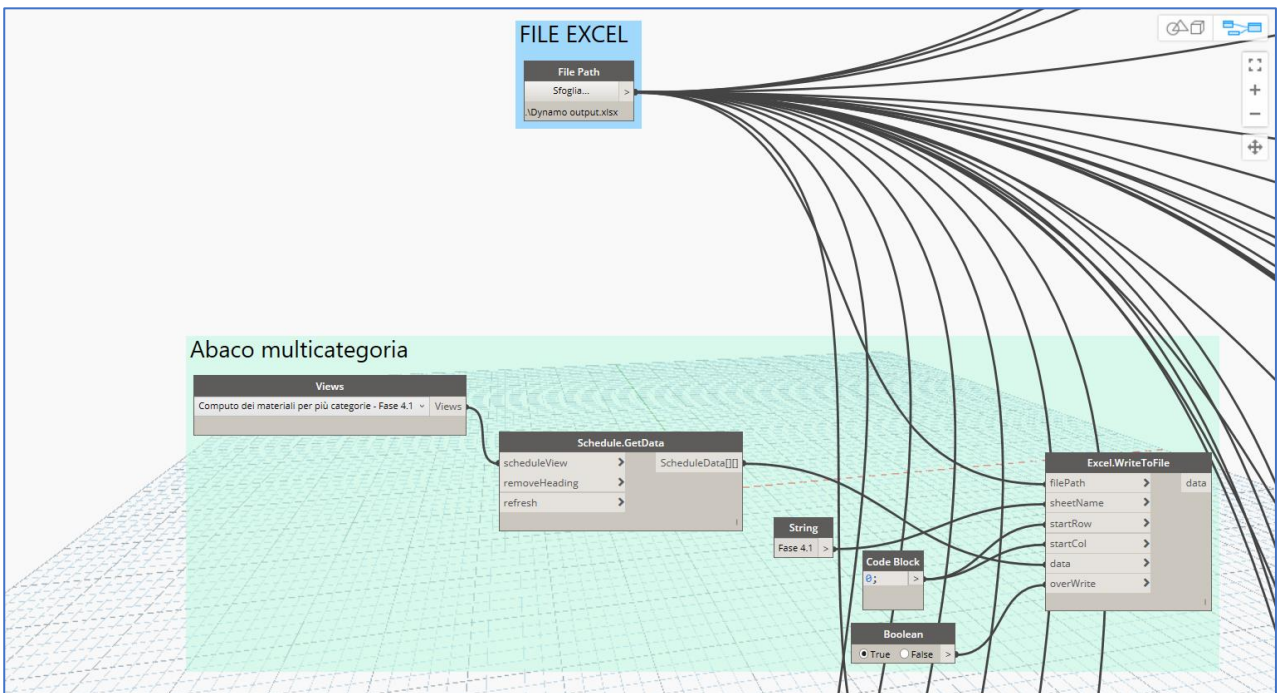
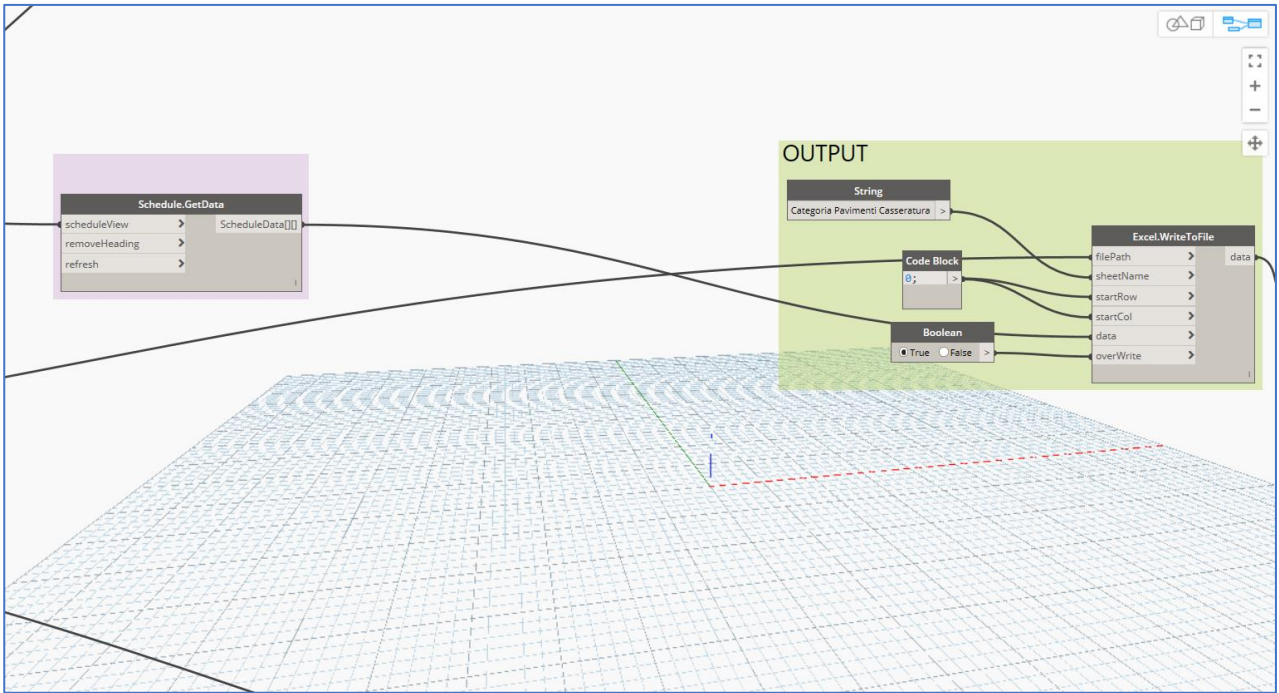


### 3. Possibilità di esportazione automatica e diretta degli abachi dei materiali Revit in un file Excel.











#### 4. Record View – PyroSim, scenario con ventilazione meccanica assente

```

6 &TIME T_END=600.0/
7 &DUMP RENDER_FILE='testeight.ge1', COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_ISOF=100.0, DT_RESTART=1599.0, DT_SL3D=0.25/
8
9 &MESH ID='Mesh01', IJK=4,11,12, XB=31.402715,35.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
10 &MESH ID='Mesh02', IJK=68,15,12, XB=31.402715,99.402715,-5.0,10.0,0.0,12.0/
11 &MESH ID='Mesh03', IJK=68,14,12, XB=31.402715,99.402715,21.0,35.0,0.0,12.0/
12 &MESH ID='Mesh04', IJK=68,40,22, XB=31.402715,99.402715,-5.0,35.0,12.0,34.0/
13 &MESH ID='Mesh05', IJK=30,10,22, XB=31.402715,61.402715,-15.0,-5.0,12.0,34.0/
14 &MESH ID='Mesh06', IJK=34,30,4, XB=31.402715,99.402715,-17.0,43.0,34.0,42.0/
15 &MESH ID='Mesh07', IJK=92,44,48, XB=35.402715,58.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
16 &MESH ID='Mesh8', IJK=41,11,12, XB=58.402715,99.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
17
18
19 &REAC ID='N-HEPTANE',
20 FUEL='N-HEPTANE',
21 SOOT_YIELD=0.015/
22
23 &PROP ID='Cleary Photoelectric P1',
24 QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
25 ALPHA_E=1.8,
26 BETA_E=-1.0,
27 ALPHA_C=1.0,
28 BETA_C=-0.8/
29
30 &DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=49.896568,7.0,6.7/
31 &DEVC ID='Visibility', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=58.0,7.0,6.7/
32 &DEVC ID='Visibility02', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=70.0,7.0,6.7/
33 &DEVC ID='Visibility03', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=88.0,7.0,6.7/
34 &DEVC ID='Visibility01', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=42.0,7.0,6.7/
35 &DEVC ID='THCP01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=79.0,7.0,6.7/
36 &DEVC ID='SD', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=54.0,7.0,9.0/
37 &DEVC ID='SD01', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=75.0,7.0,9.0/
38 &DEVC ID='GAS', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.402715,16.0,36.0, ORIENTATION=0.0,0.0,36.0/
39 &DEVC ID='GAS01', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.402715,16.0,38.0, ORIENTATION=0.0,0.0,38.0/
40 &DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=68.402715,16.0,36.0, ORIENTATION=0.0,0.0,36.0/
41 &DEVC ID='GAS02', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.402715,16.0,12.16, ORIENTATION=0.0,0.0,12.16/
42 &DEVC ID='GAS03', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.402715,16.0,17.41, ORIENTATION=0.0,0.0,17.41/
43 &DEVC ID='GAS04', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.402715,16.0,22.7, ORIENTATION=0.0,0.0,22.7/
44 &DEVC ID='GAS05', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.402715,16.0,29.3, ORIENTATION=0.0,0.0,29.3/
45
46
47 &SURF ID='R185,G189,B196',
48 RGB=185,189,196,
49 TRANSPARENCY=0.501961/
50 &SURF ID='R127,G127,B127',
51 COLOR='GRAY 50'/
52 &SURF ID='R189,G187,B185',
53 RGB=189,187,185/
54 &SURF ID='R218,G227,B224',
55 RGB=218,227,224,
56 TRANSPARENCY=0.152941/
57 &SURF ID='R216,G216,B204',
58 RGB=216,216,204/
59 &SURF ID='R128,G128,B128',
60 COLOR='GRAY'/
61 &SURF ID='woods & plastics.finish carpentry.wood.pine.png',
62 COLOR='WHITE',
63 TEXTURE_MAP='woods & plastics.finish carpentry.wood.pine.png'/
64 &SURF ID='R0,G200,B2001',
65 RGB=0,200,200,
66 TRANSPARENCY=0.501961/
67 &SURF ID='R55,G55,B255',
68 RGB=55,55,255,
69 TRANSPARENCY=0.101961/
70 &SURF ID='R192,G192,B192',
71 COLOR='SILVER'/
72 &SURF ID='chipboard.png',
73 COLOR='WHITE',
74 TEXTURE_MAP='chipboard.png'/
75 &SURF ID='R192,G192,B1921',
76 RGB=192,192,192,
77 TRANSPARENCY=0.752941/
78 &SURF ID='R0,G255,B0',
79 COLOR='GREEN'/
80 &SURF ID='Woods & Plastics.Finish Carpentry.Wood.Cherry.png',
81 COLOR='WHITE',
82 TEXTURE_MAP='Woods & Plastics.Finish Carpentry.Wood.Cherry.png'/
83 &SURF ID='Fire01',
84 COLOR='RED',
85 HRRPUA=2672.0,
86 RAMP_Q='Fire01_RAMP_Q',
87 TMP_FRONT=500.0/

```

```

86 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
87 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=10.0, F=0.7/
88 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=20.0, F=0.82/
89 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=50.0, F=0.83/
90 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=70.0, F=0.85/
91 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=90.0, F=0.83/
92 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=100.0, F=0.86/
93 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=110.0, F=0.89/
94 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=140.0, F=0.87/
95 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=150.0, F=0.88/
96 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=160.0, F=0.88/
97 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=170.0, F=0.93/
98 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=190.0, F=0.95/
99 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=200.0, F=0.97/
100 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=220.0, F=0.94/
101 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=240.0, F=0.97/
102 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=250.0, F=0.95/
103 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=260.0, F=0.91/
104 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=270.0, F=0.88/
105 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=280.0, F=0.86/
106 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=290.0, F=0.8/
107 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=300.0, F=0.58/
108 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=310.0, F=0.1/
109 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=311.0, F=0.0/
110 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=500.0, F=0.0/
111
112 &OBST ID='Object', XB=42.402715,43.402715,20.0,21.0,18.0,18.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
113 &OBST ID='Object', XB=43.402715,44.402715,20.0,21.0,16.0,16.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
114 &OBST ID='Object', XB=43.402715,44.402715,21.0,22.0,20.0,20.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
115 &OBST ID='Object', XB=43.402715,44.402715,22.0,23.0,25.0,25.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
116 &OBST ID='Object', XB=44.402715,45.402715,21.0,22.0,19.0,19.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
117 &OBST ID='Object', XB=44.402715,45.402715,22.0,23.0,23.0,23.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
118 &OBST ID='Object', XB=45.402715,46.402715,21.0,22.0,17.0,17.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
119 &OBST ID='Object', XB=45.402715,46.402715,22.0,23.0,21.0,21.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
120 &OBST ID='Object', XB=45.402715,46.402715,23.0,24.0,26.0,26.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
121 &OBST ID='Object', XB=46.402715,47.402715,22.0,23.0,20.0,20.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
122 &OBST ID='Object', XB=46.402715,47.402715,23.0,24.0,24.0,24.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
123 &OBST ID='Object', XB=47.402715,48.402715,22.0,23.0,18.0,18.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
124 &OBST ID='Object', XB=47.402715,48.402715,23.0,24.0,22.0,22.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
125 &OBST ID='Object', XB=48.402715,49.402715,22.0,23.0,16.0,16.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
126 &OBST ID='Object', XB=48.402715,49.402715,23.0,24.0,21.0,21.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
127 &OBST ID='Object', XB=48.402715,49.402715,24.0,25.0,25.0,25.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/

16624 &OBST ID='Object_4777', XB=82.402715,83.402715,1.0,2.0,28.0,28.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16625 &OBST ID='Object_4777', XB=82.402715,83.402715,6.0,8.0,29.0,29.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16626 &OBST ID='Object_4777', XB=82.402715,84.402715,4.0,6.0,29.0,29.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16627 &OBST ID='Object_4777', XB=83.402715,84.402715,2.0,4.0,29.0,29.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16628 &OBST ID='Object_4777', XB=78.402715,79.402715,8.0,8.0,26.0,27.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16629 &OBST ID='Object_4777', XB=79.402715,80.402715,4.0,4.0,26.0,27.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16630 &OBST ID='Object_4777', XB=80.402715,81.402715,6.0,6.0,27.0,28.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16631 &OBST ID='Object_4777', XB=81.402715,82.402715,2.0,2.0,27.0,28.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16632 &OBST ID='Object_4777', XB=81.402715,82.402715,8.0,8.0,28.0,29.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16633 &OBST ID='Object_4777', XB=82.402715,83.402715,4.0,4.0,28.0,29.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16634 &OBST ID='Object_4777', XB=83.402715,84.402715,2.0,2.0,28.0,29.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16635 &OBST ID='Object_4777', XB=78.402715,78.402715,8.0,9.0,26.0,27.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16636 &OBST ID='Object_4777', XB=79.402715,79.402715,4.0,8.0,26.0,27.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16637 &OBST ID='Object_4777', XB=80.402715,80.402715,1.0,4.0,26.0,27.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16638 &OBST ID='Object_4777', XB=80.402715,80.402715,6.0,9.0,27.0,28.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16639 &OBST ID='Object_4777', XB=81.402715,81.402715,2.0,6.0,27.0,28.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16640 &OBST ID='Object_4777', XB=81.402715,81.402715,8.0,10.0,28.0,29.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16641 &OBST ID='Object_4777', XB=82.402715,82.402715,1.0,2.0,27.0,28.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16642 &OBST ID='Object_4777', XB=82.402715,82.402715,4.0,8.0,28.0,29.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16643 &OBST ID='Object_4777', XB=83.402715,83.402715,1.0,4.0,28.0,29.0, COLOR='GRAY 50', SURF_ID='R127,G127,B127'/
16644 &OBST ID='Fire Obstruction', XB=55.652715,57.652715,12.0,13.5,4.5,4.75, SURF_IDS='Fire01','INERT','INERT'/
16645
16646 &VENT ID='Vent', SURF_ID='OPEN', XB=31.402715,31.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
16647 &VENT ID='Vent05', SURF_ID='OPEN', XB=99.402715,99.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
16648
16649 &BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
16650
16651 &ISOF QUANTITY='VELOCITY', VALUE=1.0,2.0,4.0,6.0/
16652 &ISOF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='SOOT', VALUE=10.0/
16653 &ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=20.0,40.0,50.0,60.0/
16654 &ISOF QUANTITY='VISIBILITY', VALUE=10.0,20.0,25.0,30.0/
16655
16656 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=9.0/
16657 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBY=9.0/
16658 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBY=16.8/
16659 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=14.15/
16660 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=12.4/
16661 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=12.4/
16662 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBY=12.4/
16663
16664
16665 &TAIL /

```

## 5. Record View – PyroSim, scenario con ventilazione meccanica presente

```

6 &TIME T_END=600.0/
7 &DUMP RENDER_FILE='testnine.ge1', COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_ISOF=100.0, DT_RESTART=1599.0, DT_SL3D=0.25/
8
9 &MESH ID='Mesh01', IJK=4,11,12, XB=31.402715,35.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
10 &MESH ID='Mesh02', IJK=68,15,12, XB=31.402715,99.402715,-5.0,10.0,0.0,12.0/
11 &MESH ID='Mesh03', IJK=68,14,12, XB=31.402715,99.402715,21.0,35.0,0.0,12.0/
12 &MESH ID='Mesh04', IJK=68,40,22, XB=31.402715,99.402715,-5.0,35.0,12.0,34.0/
13 &MESH ID='Mesh05', IJK=30,10,22, XB=31.402715,61.402715,-15.0,-5.0,12.0,34.0/
14 &MESH ID='Mesh06', IJK=34,30,4, XB=31.402715,99.402715,-17.0,43.0,34.0,42.0/
15 &MESH ID='Mesh07', IJK=92,44,48, XB=35.402715,58.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
16 &MESH ID='Mesh8', IJK=41,11,12, XB=58.402715,99.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
17
18
19 &REAC ID='N-HEPTANE',
20 FUEL='N-HEPTANE',
21 SOOT_YIELD=0.015/
22
23 &PROP ID='Cleary Photoelectric P1',
24 QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
25 ALPHA_E=1.8,
26 BETA_E=-1.0,
27 ALPHA_C=1.0,
28 BETA_C=-0.8/
29
30 &DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=49.896568,7.0,6.7/
31 &DEVC ID='Visibility', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=58.0,7.0,6.7/
32 &DEVC ID='Visibility02', QUANTITY='ABSORPTION COEFFICIENT', XYZ=70.0,7.0,6.7/
33 &DEVC ID='Visibility03', QUANTITY='ABSORPTION COEFFICIENT', XYZ=88.0,7.0,6.7/
34 &DEVC ID='Visibility01', QUANTITY='ABSORPTION COEFFICIENT', XYZ=42.0,7.0,6.7/
35 &DEVC ID='THCP01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=79.0,7.0,6.7/
36 &DEVC ID='SD', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=54.0,7.0,9.0/
37 &DEVC ID='SD01', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=75.0,7.0,9.0/
38 &DEVC ID='GAS', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.4,16.0,36.0, ORIENTATION=0.0,0.0,36.0/
39 &DEVC ID='GAS01', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.4,16.0,38.0, ORIENTATION=0.0,0.0,38.0/
40 &DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=68.4,16.0,36.0, ORIENTATION=0.0,0.0,36.0/
41 &DEVC ID='GAS02', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.4,16.0,12.16, ORIENTATION=0.0,0.0,12.16/
42 &DEVC ID='GAS03', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.4,16.0,17.41, ORIENTATION=0.0,0.0,17.41/
43 &DEVC ID='GAS04', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.4,16.0,22.7, ORIENTATION=0.0,0.0,22.7/
44 &DEVC ID='GAS05', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=68.4,16.0,29.3, ORIENTATION=0.0,0.0,29.3/
45
46
47 &SURF ID='R185,G189,B196',
48 RGB=185,189,196,
49 TRANSPARENCY=0.501961/
50 &SURF ID='R127,G127,B127',
51 COLOR='GRAY 50'/
52 &SURF ID='R189,G187,B185',
53 RGB=189,187,185/
54 &SURF ID='R218,G227,B224',
55 RGB=218,227,224,
56 TRANSPARENCY=0.152941/
57 &SURF ID='R216,G216,B204',
58 RGB=216,216,204/
59 &SURF ID='R128,G128,B128',
60 COLOR='GRAY'/
61 &SURF ID='woods & plastics.finish carpentry.wood.pine.png',
62 COLOR='WHITE',
63 TEXTURE_MAP='woods & plastics.finish carpentry.wood.pine.png'/
64 &SURF ID='R0,G200,B200',
65 RGB=0,200,200,
66 TRANSPARENCY=0.501961/
67 &SURF ID='R55,G55,B255',
68 RGB=55,55,255,
69 TRANSPARENCY=0.101961/
70 &SURF ID='R192,G192,B192',
71 COLOR='SILVER'/
72 &SURF ID='chipboard.png',
73 COLOR='WHITE',
74 TEXTURE_MAP='chipboard.png'/
75 &SURF ID='R192,G192,B1921',
76 RGB=192,192,192,
77 TRANSPARENCY=0.752941/
78 &SURF ID='R0,G255,B0',
79 COLOR='GREEN'/
80 &SURF ID='Woods & Plastics.Finish Carpentry.Wood.Cherry.png',
81 COLOR='WHITE',
82 TEXTURE_MAP='Woods & Plastics.Finish Carpentry.Wood.Cherry.png'/
83 &SURF ID='Duct01',
84 RGB=204,204,255/
85 &SURF ID='Fire01',
86 COLOR='RED',

```

```

85      HRRPUA=2672.0,
86      RAMP_Q='Fire01_RAMP_Q',
87      TMP_FRONT=500.0/
88 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
89 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=10.0, F=0.7/
90 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=20.0, F=0.82/
91 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=50.0, F=0.83/
92 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=70.0, F=0.85/
93 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=90.0, F=0.83/
94 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=100.0, F=0.86/
95 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=110.0, F=0.89/
96 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=140.0, F=0.87/
97 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=150.0, F=0.88/
98 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=160.0, F=0.88/
99 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=170.0, F=0.93/
100 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=190.0, F=0.95/
101 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=200.0, F=0.97/
102 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=220.0, F=0.94/
103 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=240.0, F=0.97/
104 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=250.0, F=0.95/
105 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=260.0, F=0.91/
106 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=270.0, F=0.88/
107 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=280.0, F=0.86/
108 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=290.0, F=0.8/
109 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=300.0, F=0.58/
110 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=310.0, F=0.1/
111 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=311.0, F=0.0/
112 &RAMP ID='Fire01_RAMP_Q', T=500.0, F=0.0/
113
114 &OBST ID='Duct 1', XB=37.157469,39.157469,14.034783,14.284783,8.262642,8.512642, SURF_ID='Duct01'/
115 &OBST ID='Shroud Top', XB=39.157469,39.657469,14.034783,14.284783,8.512642,8.512642, SURF_ID='Duct01'/
116 &OBST ID='Shroud Bottom', XB=39.157469,39.657469,14.034783,14.284783,8.262642,8.262642, SURF_ID='Duct01'/
117 &OBST ID='Shroud Side -Y', XB=39.157469,39.657469,14.284783,14.284783,8.262642,8.512642, SURF_ID='Duct01'/
118 &OBST ID='Shroud Side +Y', XB=39.157469,39.657469,14.034783,14.034783,8.262642,8.512642, SURF_ID='Duct01'/
119 &OBST ID='Duct 1', XB=37.157469,39.157469,16.662117,16.912117,8.262642,8.512642, SURF_ID='Duct01'/
120 &OBST ID='Shroud Top', XB=39.157469,39.657469,16.662117,16.912117,8.512642,8.512642, SURF_ID='Duct01'/
121 &OBST ID='Shroud Bottom', XB=39.157469,39.657469,16.662117,16.912117,8.262642,8.262642, SURF_ID='Duct01'/
122 &OBST ID='Shroud Side -Y', XB=39.157469,39.657469,16.912117,16.912117,8.262642,8.512642, SURF_ID='Duct01'/
123 &OBST ID='Shroud Side +Y', XB=39.157469,39.657469,16.662117,16.662117,8.262642,8.512642, SURF_ID='Duct01'/
124 &OBST ID='Obstruction', XB=50.860847,58.552613,8.061033,13.0,9.184791,9.434791, SURF_ID='INERT'/
125 &OBST ID='Object', XB=42.402715,43.402715,20.0,21.0,18.0,18.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/
126 &OBST ID='Object', XB=43.402715,44.402715,20.0,21.0,16.0,16.0, RGB=185,189,196, TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='R185,G189,B196'/

16762 &OBST ID='Fire Obstruction', XB=55.652715,57.402715,12.75,14.0,4.5,4.75, SURF_IDS='Fire01','INERT','INERT'/
16763
16764 &EVENT ID='Vent', SURF_ID='OPEN', XB=31.402715,31.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
16765 &EVENT ID='Vent05', SURF_ID='OPEN', XB=99.402715,99.402715,10.0,21.0,0.0,12.0/
16766 &EVENT ID='Inlet 1', SURF_ID='HVAC', XB=37.156469,37.156469,14.034783,14.284783,8.262642,8.512642, RGB=0,255,51/
16767 &EVENT ID='Outlet 1', SURF_ID='HVAC', XB=39.157469,39.157469,14.034783,14.284783,8.262642,8.512642, UWN=1.0,-1.224647E-16,-0.1405/
16768 &EVENT ID='Inlet 01', SURF_ID='HVAC', XB=37.156469,37.156469,16.662117,16.912117,8.262642,8.512642, RGB=0,255,51/
16769 &EVENT ID='Outlet 01', SURF_ID='HVAC', XB=39.157469,39.157469,16.662117,16.912117,8.262642,8.512642, RGB=51,51,255, UWN=1.0,-1.224647E-16,-0.1405/
16770
16771 &HVAC ID='Inlet HVAC 1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct Low Speed 1', VENT_ID='Inlet 1'/
16772 &HVAC ID='Center HVAC 1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct Low Speed 1','Duct High Speed 1', XYZ=38.157469,14.159783,8.387642/
16773 &HVAC ID='Outlet HVAC 1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct High Speed 1', VENT_ID='Outlet 1'/
16774 &HVAC ID='Duct Low Speed 1', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.0625, PERIMETER=1.0, NODE_ID='Inlet HVAC 1','Center HVAC 1', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=1.001/
16775 &HVAC ID='Duct High Speed 1', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.3048, FAN_ID='High speed fan01', NODE_ID='Center HVAC 1','Outlet HVAC 1', ROUGHNESS=1.0E-3/
16776 &HVAC ID='Inlet HVAC 01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct Low Speed 01', VENT_ID='Inlet 01'/
16777 &HVAC ID='Center HVAC 01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct Low Speed 01','Duct High Speed 01', XYZ=38.157469,16.787117,8.387642/
16778 &HVAC ID='Outlet HVAC 01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct High Speed 01', VENT_ID='Outlet 01'/
16779 &HVAC ID='Duct Low Speed 01', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.0625, PERIMETER=1.0, NODE_ID='Inlet HVAC 01','Center HVAC 01', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=1.001/
16780 &HVAC ID='Duct High Speed 01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.3048, FAN_ID='High speed fan01', NODE_ID='Center HVAC 01','Outlet HVAC 01', ROUGHNESS=1.0E-3/
16781 &HVAC ID='High speed fan01', TYPE_ID='FAN', VOLUME_FLOW=2.7125/
16782
16783 &BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
16784
16785 &ISOF QUANTITY='VELOCITY', VALUE=1.0,2.0,4.0,6.0/
16786 &ISOF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='SOOT', VALUE=10.0/
16787 &ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=20.0,40.0,50.0,60.0/
16788 &ISOF QUANTITY='VISIBILITY', VALUE=10.0,20.0,25.0,30.0/
16789
16790 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=9.0/
16791 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=9.0/
16792 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=16.8/
16793 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=14.15/
16794 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=12.4/
16795 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=12.4/
16796 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=12.4/
16797 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=14.15/
16798 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=57.0/
16799 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=57.0/
16800 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=57.0/
16801
16802
16803 &TAIL /

```

## 14.0 Bibliografia

- [1] A. Osello, *il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Palermo Dario Flaccovio, 2012.
- [2] R.Petrie, “*buildingSMART International: An Update*” in *L’implementazione del BIM in Europa. L’industria dell’ambiente costruito e la sfida digitale*, Bologna, 2017.
- [3] D-lgs. N.50 Codice dei contratti pubblici, Titolo III, Art.23 Livelli della progettazione per gli appalti, per le concessioni di lavori nonché per i servizi, comma 13, 18/04/2016.
- [4] Eastman; Teicholz, Sacks, Liston, *il BIM guida complete al Building Information Modeling*, edizione italiana a cura di Giuseppe Di Giuda e Valentina Villa, 2016.
- [5] Ente Italiano di Normazione, UNI 11337 – Edilizia e opera di ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informative delle costruzioni, 2017.
- [6] P. Teicholz e IFMA, *BIM for Facility Managers*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
- [7] A. Acquaviva, A.Osello, *Building Information Modeling Geographic Information System Augmented Reality per il Facility Management*, Dario Flaccovio, 2015.
- [8] Hurley, M.J., Gottuk D.T., Hall Jr. J.R., Harada K., Kuligowski E.D., Puchovsky M., Torero J.L., Watts Jr. J.M., Wieczorek C.J., *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2016.
- [9] G.Vulpiani, G.Ascenzi, G.Villi, *Ingegneria della sicurezza antincendio. Guida all’utilizzo di FDS (Fire Dynamics Simulator)*, 2010.
- [10] Kenneth A. Lambert, *Programmazione in Python*, 2018.

## 15.0 Sitografia

- <https://www.edilportale.com/> [01/08/2018]
- <https://www.autodesk.eu/> [06/08/2018]
- <http://www.omniclass.org/> [06/08/2018]
- <http://www.buildingsmart-tech.org/> [09/08/2018]
- <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/> [10/08/2018]
- <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/> [10/08/2018]
- <http://www.ingegneri.info/forum/> [12/08/2018]
- <https://www.nationalbimstandard.org/> [20/08/2018]
- <https://www.nibs.org/news/242663/buildingSMART-alliance-Releases-NBIMS-US-Version-3.htm> [20/08/2018]
- <https://www.autodesk.eu/products/navisworks/overview> [20/08/2018]
- <http://dynamobim.org/> [01/09/2018]

## 16.0 Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno dato supporto durante la stesura della mia Tesi, in particolare, i miei genitori, senza il loro sostegno morale ed economico sicuramente non avrei potuto raggiungere questo traguardo.

Ringrazio la Prof.ssa Anna Osello e il Prof. Roberto Vancetti per avermi dato la possibilità di approfondire temi affascinanti con la più totale libertà. Un particolare ringraziamento va a Arianna Fonsati, senza il confronto, lo scambio di idee, i consigli e le critiche costruttive non avrei raggiunto il risultato ottenuto.

Desidero ringraziare i miei fratelli, i miei amici di una vita e quelli conosciuti nel percorso universitario (che sarebbe riduttivo definire colleghi), hanno avuto un peso determinante nel conseguimento di questo titolo.

